

Thais Fernandes de Matos

**CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E EVOLUÇÃO DIAGENÉTICA
DE ARENITOS DAS FORMAÇÕES RESENDE E TREMEMBÉ
(PALEÓGENO DA BACIA DE TAUBATÉ) EM TESTEMUNHOS DE
SONDAGEM**

**Trabalho de Conclusão de Curso
(Bacharelado em Geologia)**

UFRJ
Rio de Janeiro
2010

Thais Fernandes de Matos

**CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E EVOLUÇÃO DIAGENÉTICA DE
ARENITOS DAS FORMAÇÕES RESENDE E TREMEMBÉ (PALEÓGENO DA
BACIA DE TAUBATÉ) EM TESTEMUNHOS DE SONDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso de
Graduação em Geologia do Instituto de
Geociências, Universidade Federal do Rio
de Janeiro – UFRJ, apresentado como
requisito necessário para obtenção do grau
de Bacharel em Geologia.

Orientador (es)
Carlos Jorge de Abreu
Dorval Carvalho Dias

Rio de Janeiro
Março de 2010

THAIS, Fernandes de Matos.

Caracterização petrográfica e evolução diagenética de Arenitos das Formações Resende e Tremembé (Paleógeno da bacia de Taubaté) em testemunhos de sondagem / Thais

Fernandes de Matos - - Rio de Janeiro: UFRJ / IGEO, 2010.

x, 60 p. : il.; 30cm

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2009.

Orientador: Carlos Jorge de Abreu, Dorval Carvalho Dias

1. Geologia. 2. Petrografia – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Carlos Jorge de Abreu. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências

Thais Fernandes de Matos

CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E EVOLUÇÃO DIAGENÉTICA DE
ARENITOS DAS FORMAÇÕES RESENDE E TREMEMBÉ (PALEÓGENO DA
BACIA DE TAUBATÉ) EM TESTEMUNHOS DE SONDAGEM

Trabalho Final de Curso de Graduação em
Geologia do Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio de Janeiro –
UFRJ, apresentado como requisito
necessário para obtenção do grau de
Bacharel em Geologia.

Orientador (es)
Carlos Jorge de Abreu
Dorval Carvalho Dias

Aprovado em: 11. 03. 2010
Por:

Orientador: Carlos Jorge de Abreu (UFRJ)

Julio Cezar Mendes (UFRJ)

Lílian Souza da Silveira (CENPES)

UFRJ
Rio de Janeiro
2010

Agradecimentos

Agradeço a minha família (em especial a minha mãe) pelo apoio durante todo o percurso da faculdade, bem como em todos os anos anteriores. Pela confiança de que um dia “eu chegaria lá”.

Aos meus amigos de infância, aos de longe e de perto, aos que vejo todos os dias e aos que há muito não encontro, mas sei que estão lá. Cada um com seu espaço e todos com grande importância.

Ao Rafael, namorado extremamente paciente e prestativo, que foi muito importante para a conclusão desse trabalho.

Aos amigos do Laboratório de Testemunhos – CENPES, que me ajudaram em todas as ausências do trabalho pra assistir às aulas e aos geólogos do CENPES/PDEXP/GSEP: Daniel, Lilian, Marcelo e Tiago que auxiliaram (muito) nas dúvidas e metodologia de trabalho. Ao Ailton e Guilherme, que me deram uma “força” com o MEV e a Catodoluminescência (respectivamente).

Aos orientadores Abreu e Dorval.

A todos os meu MUITO OBRIGADA!!

Resumo

MATOS, Thais Fernandes. **Caracterização petrográfica e evolução diagenética de arenitos das Formações Resende e Tremembé (Paleógeno da Bacia de Taubaté) em testemunhos de sondagem.** 2010. x, 60 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

A Bacia de Taubaté, localizada entre as Serras do Mar e Mantiqueira, foi muito estudada com ênfase na estratigrafia e sedimentologia, sendo caracterizada pela heterogeneidade geológica, herança da tectônica do tipo rifte, que dividiu a bacia em compartimentos e condicionou a sedimentação, constituída por depósitos de leques aluviais associados à planície aluvial e sedimentos lacustres do tipo playa-lake.

Estudos petrológicos, particularmente no que se refere aos processos diagenéticos, são pouco conhecidos devido à grande parte dos dados sobre a bacia ser proveniente de dados de superfície e poços rasos.

Com o objetivo de contribuir para o melhor conhecimento das características texturais, composicionais e diagenéticas, de suma importância na avaliação de rochas-reservatório de fluidos, foram analisadas 30 lâminas delgadas de arenitos das Formações Resende e Tremembé.

Esse estudo indicou que as amostras são pertencentes à fase eodiagenética, caracterizada por fraca compactação dos grãos do arcabouço, sendo raros os contatos côncavo-convexos e relativamente comuns os contatos pontuais; geração de porosidade secundária por dissolução de grãos do arcabouço e modificação da porosidade primária por cimentação de óxidos e hidróxidos de ferro, caulinita “*pore filling*” e pela infiltração mecânica de argilas, resultado de enchentes fluviais episódicas.

Palavras-chave: Formação Resende; Formação Tremembé; Petrografia; Diagênese de arenitos.

Abstract

MATOS, Thais Fernandes. **Petrographic characterization and evolution of diagenetic sandstone formations Resende and Tremembé (Paleogene Basin Taubaté) in core from well.** 2010. x, 60 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The Taubaté Basin, located between the Serra do Mar and Mantiqueira mountain range. It has been well studied with emphasis on stratigraphy and sedimentology, characterized by varying geology, tectonic inheritance of the rift that divided the basin into compartments and conditioned the sedimentation, consisting of alluvial deposits associated with alluvial and lacustrine playa lake sediments.

Petrological studies, particularly in relation to diagenetic processes are not well known because most of the data on the basin comes from surface and shallow wells.

In order to contribute to a better understanding of the characteristics of textural, compositional and diagenetic, very important in the evaluation of rock-fluid reservoir, we analyzed 30 thin sections of sandstone formations Resende and Tremembé.

This study indicated that the samples belong eodiagenética phase, characterized by poor compaction of framework grains, the contacts concave-convex are rare and relatively common the off contacts, generation of secondary porosity by dissolution of framework grains and modification of primary porosity cementation by iron oxides and hydroxides, kaolinite “pore filling” and the mechanical infiltration of clays, the result of episodic flooding river.

Key-words: Resende Formation; Tremembé Formation; Petrography; Sandstone diagenesis.

Lista de figuras

Figura 1 – Imagem de satélite mostrando a localização da Bacia de Taubaté dentro do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil e a localização do poço estudado. [p.2]

Figura 2 - Modelo tridimensional de terreno, a partir de imagens de satélite, com elevação aumentada três vezes, mostrando a feição morfológica da Bacia de Taubaté, depressão alongado na direção SW-NE.[p.3]

Figura 3 - Divisão das sismossequências E, D, C, B e A de acordo com as linhas de tempo em correlação com o poço PINDA-2-SP. [p.4]

Figura 4 - Exemplo da definição dos constituintes do arcabouço no método Gazzi-Dickinson. [p.7]

Figura 5 - Diagrama estratigráfico da Bacia de Taubaté. Modificado de Riccomini (1989).[p.9]

Figura 6 - Fotomicrografia em luz polarizada (A) e em catodoluminescência (B) mostrando a predominância de feldspatos em relação ao quartzo. Na catodoluminescência os k-feldspatos apresentam tons de cinza, os plagioclásios de amarelo e os quartzos de preto. – Lâmina 614,85m. Aumento de 2,5x.[p.12]

Figura 7 - Cutícula irregular de esmectita, característica de infiltração mecânica, sobre grão de quartzo. Profundidade de 134,35 m (microscópio eletrônico de varredura; aumento de 350X).[p.16]

Figura 8 - Fig. 8 - EDS da argila como cutícula observada na figura anterior, onde pela associação de picos, identificou-se o argilomineral como esmectita.[p.16]

Figura 9 - Precipitação de caulinita (K) na profundidade de 189,80 m (microscópio eletrônico de varredura; aumento de 900X). [p.17]

Figura 10 - EDS da argila intergranular observada na figura anterior, onde pela associação de picos, identificou-se o argilomineral como caulinita (notar o alto pico de alumínio). [p.17].

Figura 11 - Extremidades das moscovitas alterando para caulinita, expandindo-se com hábito em vassoura (setas vermelhas). Amostra 464,80m (aumento de 20x). [p.18]

Figura 12 - Diagrama de Folk com o plote das 15 amostras estudadas de forma quantitativa nas formações Resende e Tremembé. [p.19]

Figura 13 - Diagramas indicadores dos tipos principais de proveniência (bloco continental, arco magmático e orógeno reciclado) e suas subdivisões (Dickinson, 1985). Foram quantificadas 15 amostras do poço PINDA-2-SP. Sendo as azuis da Formação Resende e as vermelhas da Formação Tremembé. [p.22]

Figura 14 – Estampa 1 - Aspectos de cimentação. [p.29]

Figura 15 – Estampa II - Aspectos de compactação. [p.32]

Figura 16 - Gráfico de porosidade *versus* profundidade das 15 amostras com quantificação petrográfica. Sendo 3 (três) da Formação Tremembé (em vermelho) e 12 (doze) da Formação Resende. [p.35]

Figura 17 – Estampa III – Aspectos de dissolução. [p. 36]

Figura 18 – Estampa IV – Aspectos de argila mecanicamente infiltrada. [p. 38]

Figura 19 - Esquema ilustrando o efeito da cimentação por esmectita como cutículas em reservatórios. As setas indicam pontos onde as gargantas dos poros foram totalmente obliteradas diminuindo consideravelmente a permeabilidade. Entretanto, a porosidade é pouco reduzida. [p.39]

Figura 20 - Esquema ilustrando o efeito da expansão e caulinição das micas em arenitos, diminuindo a porosidade. [p.40]

Lista de tabelas

Tabela 1 - Relação de amostras de arenito do poço PINDA-2-SP com suas profundidades, formações e sismofácies a qual pertencem. [p.6]

Tabela 2 - Contagem petrográfica segundo Dickinson (1985) em porcentagem (%) média e máxima de todos os constituintes minerais e porosidade. [p.13]

Tabela 3 – Valores de percentuais médios do conjunto de amostras de cada sismossequência. [p. 14]

Lista de quadros

Quadro 01 - Tipos de proveniência discriminados pelos diagramas Qt-F-L e Qm-F-Lt e os aspectos composicionais resultantes dos ambientes tectônicos (Dickinson, 1985). [p.21]

Sumário

Resumo.....	v
Lista de figuras.....	vii
Lista de tabelas.....	ix
Lista de quadros.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	5
3. CONTEXTO GEOLÓGICO.....	8
4. RESULTADOS.....	11
4.1 Textura.....	11
4.2 Composição mineralógica.....	11
4.3 Constituintes diagenéticos.....	15
4.4 Classificação dos arenitos.....	19
5. DISCUSSÕES.....	20
5.1 Proveniência.....	20
5.1.1 Bloco continental.....	20
5.2 Diagênese.....	24
5.3 Fases diagenéticas identificadas nas Formações.....	26
6. COMPACTAÇÃO E POROSIDADE.....	31
7. INFERÊNCIAS SOBRE QUALIDADE DE RESERVATÓRIOS NOS ARENITOS ESTUDADOS.....	37
7.1 Impacto das esmectitas sobre a qualidade dos reservatórios.....	37
7.2 Impacto da caulinita sobre a qualidade dos reservatórios.....	39
8. CONCLUSÕES.....	41

Referências bibliográficas.....	43
Apêndice A.1	46
Apêndice A.2	47
Apêndice A.3	48
Apêndice A.4	49
Apêndice A.5	50
Apêndice A.6	51
Apêndice A.7	52
Apêndice A.8	53
Apêndice A.9.....	54
Apêndice A.10.....	55
Apêndice A.11.....	56
Apêndice A.12.....	57
Apêndice A.13.....	58
Apêndice A.14.....	59
Apêndice A.15.....	60

1. INTRODUÇÃO

A Bacia de Taubaté, junto com as bacias de São Paulo, Resende, Volta Redonda, Curitiba e Depressão da Guanabara (Fig. 1), integram o *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (RCSB), anteriormente denominado de Sistema de *Rifts* da Serra do Mar (*SRS*M) (Almeida, 1976). Estas bacias são a expressão da evolução terciária da região sul-sudeste do Brasil. Morfologicamente a Bacia de Taubaté é uma depressão alongada na direção SW-NE (Fig. 2), preenchida por sedimentos continentais, com espessura máxima de 850 metros (Fernandes & Chang, 2001) segundo dados sísmicos. De acordo com a perfuração do poço PINDA-2-SP na porção mais baixa da bacia, a profundidade chega a aproximadamente 750m.

Nas últimas décadas, a Bacia de Taubaté tem sido alvo de grande número de trabalhos enfatizando a estratigrafia e sedimentologia (Suguio, 1969; Hasui & Ponçano, 1978; Vespucci, 1984; Riccomini, 1989), porém, grande parte desses trabalhos foram embasados na análise de informações de superfície. Trabalhos realizados com informações de subsuperfície foram realizados por Marques (1990) e Fernandes (1993) que, através da sísmica de reflexão, forneceram novas informações sobre o arcabouço da bacia e inferências sobre a variação litológica por meio da identificação de fácies sísmicas.

Dentre os depósitos da Bacia de Taubaté os das Formações Resende e Tremembé, de idade oligocênica, são de grande importância para o entendimento da dinâmica da bacia, por serem os mais expressivos em termos de distribuição regional e espessura de sedimentos.



Fig. 1 – Imagem de satélite mostrando a localização da Bacia de Taubaté dentro do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil e a localização do poço estudado (Abreu & Appi, 2008).

A compreensão dos sistemas deposicionais implantados na bacia e, em particular, da distribuição dos arenitos, é de fundamental importância para entender a distribuição de rochas com potencial de reservatórios em bacias do tipo rift. Além do entendimento do arcabouço estratigráfico-deposicional nessas bacias, estudos petrológicos, baseados na composição e evolução diagenética dos arenitos pode contribuir para o reconhecimento da dinâmica deposicional, em relação às prováveis fontes dos sedimentos. Outra importância dos estudos petrológicos é a caracterização dos arenitos depositados nessas bacias como reservatórios de fluidos, quanto aos seus parâmetros de porosidade original e secundária, presença ou não de matriz, compactação e cimentação.



Fig. 2 – Modelo tridimensional de terreno, a partir de imagens de satélite, com elevação aumentada três vezes, mostrando a feição morfológica da Bacia de Taubaté, depressão alongada na direção SW-NE. Fonte: Google Earth

Visando fornecer dados para auxiliar na compreensão geológica da Bacia de Taubaté, buscou-se estudar, neste trabalho, os principais aspectos dos arenitos do Oligoceno (formações Resende e Tremembé) por meio de análise petrográfica de lâminas delgadas obtidas de testemunho de sondagem do poço PINDA-2-SP, do Projeto CTPETRO FINEP/PETROBRAS, número 21.01.0347-00, adquirindo informações sobre as condições de soterramento e diagênese. O conjunto dessas informações foi também relacionado às sismossequências definidas por Marques (1990) para verificar se o padrão composicional-diagenético dos arenitos obedece ao padrão de refletores que divide o poço em cinco sismossequências (E, D, C, B e A) (Fig. 3).

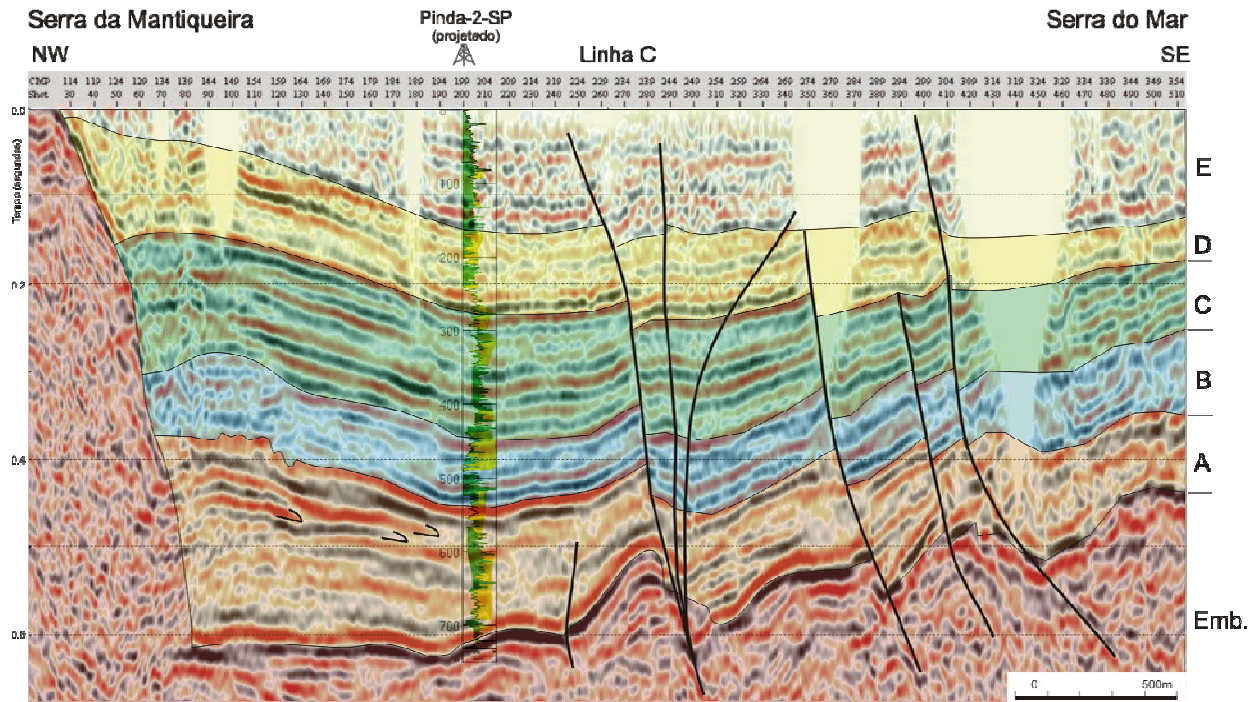


Fig. 3 – Divisão das sismossequências E, D, C, B e A de acordo com as linhas de tempo em correlação com o poço PINDA-2-SP. (Abreu & Appi, 2008)

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Como material do estudo foram utilizadas trinta lâminas petrográficas (Tabela 1) confeccionadas a partir de amostras coletadas em testemunho de sondagem do poço PINDA-2-SP. A área de estudo na qual se insere o poço localiza-se a noroeste da bacia de Taubaté (Fig. 1). Os estudos foram divididos em três etapas, revisão bibliográfica, petrografia qualitativa e petrografia quantitativa.

A etapa inicial, revisão bibliográfica, envolveu a revisão de trabalhos científicos publicados a fim de estabelecer uma base de conhecimentos geológicos a cerca da Bacia de Taubaté. A segunda etapa, petrografia qualitativa, foi realizada com o objetivo de caracterizar aspectos mineralógicos, diagenéticos e texturais, segundo Folk (1968). A terceira etapa, análise petrográfica quantitativa, foi realizada através das contagens de 300 pontos dos constituintes mineralógicos (segundo o método Gazzi-Dickinson) e diagenéticos de quinze amostras, alternando as profundidades em sequência. O método Gazzi-Dickinson, em relação ao método tradicional de quantificação petrográfica, tem como principal diferença a contagem de grãos poliminerálicos (com cristais individuais $> 0,062$ mm), não como fragmentos líticos, mas como cristais em um fragmento de rocha, sendo considerado o cristal que durante a contagem cair no cruzamento dos retículos (Fig. 4). Desse modo, fragmentos de rochas plutônicas podem ser contados, por exemplo, como grãos de quartzo, feldspato ou mica em fragmento de rocha. O método Gazzi-Dickinson, é baseado somente na composição, para evitar que os resultados sejam influenciados pelo tamanho dos grãos modificados pela fragmentação. As características texturais como seleção e fração granulométrica foram classificadas em relação às classes de de Pettijonh et al (1972), e Wentworth (1922), respectivamente. Nas quinze

amostras selecionadas para petrografia quantitativa, realizou-se também a contagem granulométrica em 100 grãos, extraíndo-se a moda de tamanho de grão e grau de seleção (σ).

Tabela 1 - Relação de amostras de arenito do poço PINDA-2-SP com suas profundidades, formações e sismossequências a qual pertencem.

<i>Profundidade (m)</i>	<i>Formação</i>	<i>Sismossequências</i>
55,40	Tremembé	E
79,95	Tremembé	E
125,15	Tremembé	E
134,35	Resende	E
146,35	Resende	E
165,85	Resende	E
178,30	Resende	D
189,80	Resende	D
209,20	Resende	D
224,90	Resende	D
232,65	Resende	D
266,20	Resende	D
284,15	Resende	C
316,95	Resende	C
342,70	Resende	C
365,65	Resende	C
426,95	Resende	C
430,20	Resende	C
449,00	Resende	B
464,80	Resende	B
497,30	Resende	B
521,80	Resende	B
537,85	Resende	B
547,10	Resende	B
587,45	Resende	A
614,85	Resende	A
645,25	Resende	A
673,80	Resende	A
702,15	Resende	A
720,90	Resende	A

A análise dos componentes, detríticos e diagenéticos, tem por objetivo caracterizar a proveniência dos componentes detríticos dos sedimentos siliciclásticos, bem como identificar os processos diagenéticos ocorridos durante a história de soterramento destas rochas.

Nas etapas de descrição e quantificação petrográfica foi utilizado o microscópio Zeiss Axio A1. Para a obtenção das fotomicrografias foi utilizada câmera digital AxioCam MRc. As imagens foram tratadas digitalmente pelo programa AxioVision®, no laboratório de petrografia do CENPES/Petrobras.

Em casos em que foi difícil a identificação de argilominerais microscopicamente, realizou-se EDS utilizando microscópio eletrônico de varredura (MEV) para obter-se a composição química da argila, classificando-a.

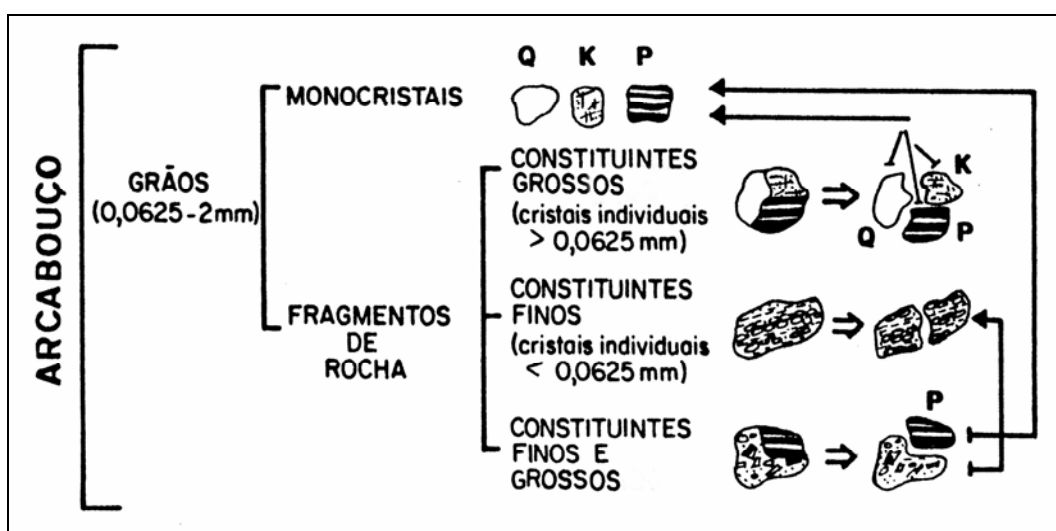


Fig. 4 - Exemplo da definição dos constituintes do arcabouço no método Gazzi-Dickinson.

3. CONTEXTO GEOLÓGICO

A Bacia de Taubaté faz parte de um conjunto de bacias pertencentes ao Rift Continental do Sudeste do Brasil – RCSB – (Riccomini, 1989), relacionada à tectônica distensiva de idade terciária. Localiza-se no Planalto Atlântico, posicionada entre as serras do Mar e Mantiqueira, apresentando forma alongada com cerca de 170 km de comprimento, largura média de 25 km e espessura máxima aproximada de sedimentos de 850 m (Vidal *et al*, 2004)(figs.1 e 2).

O arcabouço da bacia é formado por semigrábens separados por zonas de transferência ou de acomodação, com depocentros invertidos e leques aluviais associados às falhas de borda, em típica geometria de bacia do tipo rifte. Esta bacia assenta-se sobre rochas ígneas e metamórficas do Cinturão de Dobramentos Ribeira, com idades do Paleoproterozóico ao Neoproterozóico (Hasui & Ponçano, 1978). O preenchimento sedimentar é caracterizado pela formação de depósitos de leques aluviais e de planície aluvial e lacustre de idade paleogênica e por depósitos fluvial meandrante, aluvial e coluvial do Neógeno até o Quaternário (Riccomini, 1989). Este preenchimento pode ser dividido em duas fases: a primeira, sintectônica ao rifte, com a deposição dos sedimentos do Grupo Taubaté; e a segunda, posterior à tectônica diastrófica, com a deposição da Formação Pindamonhangaba e depósitos aluviais e coluviais, como visto no diagrama estratigráfico da Bacia de Taubaté (Fig. 5).

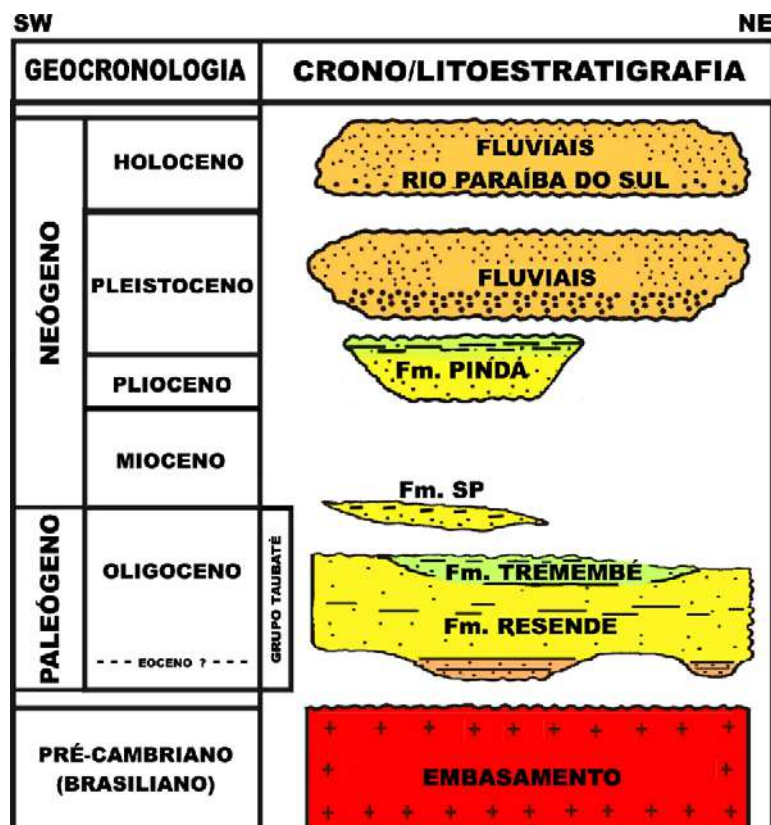


Fig. 5 – Diagrama estratigráfico da Bacia de Taubaté. (Riccomini (1989), modificado por Abreu & Appi, 2008).

O Grupo Taubaté foi depositado durante o Paleógeno (Eoterciário), e é subdividido nas formações Resende, Tremembé e São Paulo.

Quanto à participação em volume dos depósitos de cada formação, pode-se considerar a maior parte dos sedimentos pertencentes às formações Resende e Tremembé, uma vez que a Formação São Paulo é de ocorrência restrita e a Formação Pindamonhangaba e depósitos quaternários, embora de ampla distribuição espacial, apresentam pouca espessura.

A Formação Resende é constituída por um sistema de leques aluviais originados a partir de fluxos de massa nas bordas tectonicamente ativas das bacias associados à planície fluvial de rios entrelaçados. As fácies proximais são compostas por conglomerados polimífticos, interdigitados com arenitos e lamitos arenosos de leques aluviais, oriundos de corridas de lama. Nas porções distais

predominam os sedimentos formados em ambiente de planície aluvial, que correspondem a arenitos mal selecionados e com granulação média a grossa, podendo ser maciços, em pequenos corpos, ou com estratificações cruzadas acanaladas, constituindo extensos lençóis, os quais se intercalam a lamitos argilosos.

A Formação Tremembé interdigita-se com os depósitos da Formação Resende, constituindo-se na unidade mais significativa da porção central da bacia. Esta formação, depositada em ambiente lacustre do tipo *playa-lake* (Riccomini, 1989), é composta por: argilitos maciços, cor verde; ritmitos formados pela alternância de folhelhos e margas; arenitos com estratificação cruzada sigmoidal e granocrescência descendente de areia média até silte; e arenitos grossos, arcoseanos.

A Formação São Paulo compreende um sistema fluvial meandrante, sendo as principais fácies sedimentares compostas por arenitos grossos, conglomeráticos, com abundante estratificação cruzada, siltitos e argilitos laminados e arenitos médios e grossos gradando para sedimentos mais finos. Na Bacia de Taubaté, a ocorrência desta formação está restrita à porção sudoeste.

Sobrepostos em discordância ao Grupo Taubaté, ocorrem os sedimentos da Formação Pindamonhangaba. Depositada no Neoterciário, esta formação corresponde aos depósitos de sistema fluvial meandrante, bem desenvolvidos na porção central da Bacia de Taubaté (região entre São José dos Campos e Pindamonhangaba), aflorante numa faixa alongada situada ao sul do Rio Paraíba do Sul.

Por fim, ocorrem os sedimentos aluviais e coluviais quaternários posicionados ao longo das drenagens principais dos rios da região.

4. RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos em relação ao diferente conjunto de texturas; a composição mineralógica da sequência estudada; os diferentes constituintes diagenéticos e a forma como ocorrem além da classificação dos arenitos das Formações Resende e Tremembé.

4.1 Textura

As amostras analisadas apresentam granulometria variando de arenitos finos a grossos, sendo a maioria dos grãos de tamanho médio. Em relação à seleção, as amostras variam de pobremente a bem selecionadas, no entanto a seleção dominante é a moderada, com desvio padrão (σ) entre 0,5 e 1,0. Quanto ao arredondamento são em geral de subangulosos a subarredondados.

4.2 Composição mineralógica

O principal mineral constituinte das amostras é **k-feldspato**, predominando o ortoclásio (méd. 18,4% – máx 31,3%) e em menor quantidade microclina (méd. 7,9% – máx 12%). Muitos dos k-feldspatos estão parcialmente alterados para caulinita.

Deve ser salientado que o método de identificação entre ortoclásios e microclinas foi unicamente visual, logo, uma microclina sem geminação aparente pode ser confundida com um ortoclásio. São encontrados também em menor quantidade os plagioclásios (méd. 2,2% – máx 5,3%) e fragmentos de rocha plutônica, constituídos

por feldspatos potássicos, plagioclásios e quartzo (méd. 12,1% – máx 28,7%).

(Fig.6)

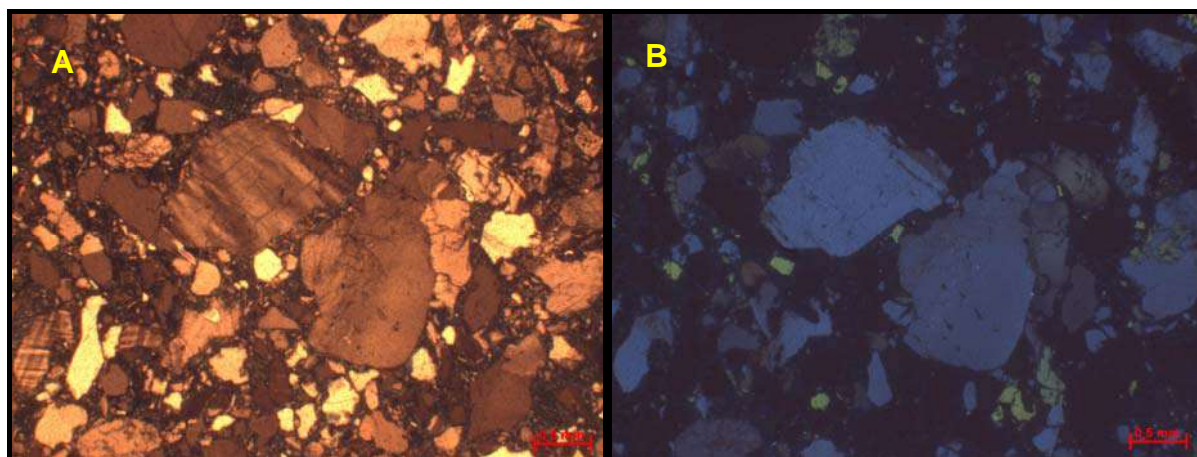


Fig. 6 - Fotomicrografia em luz polarizada (A) e em catodoluminescência (B) mostrando a predominância de feldspatos em relação ao quartzo. Na catodoluminescência os k-feldspatos apresentam tons de cinza, os plagioclásios de amarelo e os quartzos de preto. – Lâmina 614,85m. Aumento de 2,5x.

Os grãos de **quartzo** estão presentes na forma monocristalina (méd. 19,5% – máx 31,3%), com extinções retas e ondulantes e policristalina (méd. 2,6% – máx 8,3%).

As **micas** encontradas são a moscovita (méd. 1,6% – máx 3,3%) e a biotita (méd. 1,4% – máx 3,2%). Por vezes as moscovitas estão expandidas e alterando para caulinita.

Os minerais **acessórios** (méd. 0,5% – máx 1,3%) são essencialmente minerais pesados como zircão, clinozoizita, epidoto, granada, turmalina e apatita. Ocorrem ainda, intraclastos lamosos e fragmentos de matéria orgânica e em menor quantidade, fragmentos orgânicos não identificados.

Todos os grãos minerais, bem como os argilominerais, cimentos e os tipos de porosidade estão listados, com porcentagem média e máxima, na tabela 02.

Os resultados da comparação entre as sismossequências (E, D, C, B e A) e a composição mineralógica, diagenética e o volume poroso, estão apresentados na tabela 03

Tabela 2 – Valores de percentuais médios e máximos do conjunto de 15 amostras de arenito do poço PINDA-2-SP.

Componentes	Média	Máx
Quartzo detrítico	27,3	36,7
Quartzo monocristalino	19,5	31,3
Quartzo policristalino	2,6	8,3
Quartzo em fragmento de rocha plutônica	5,2	11,4
Feldspato detrítico	36,9	45,3
K-feldspato detrítico	33,8	43,0
Ortoclasio/Sanidina monocristalino	18,4	25,7
Microclina monocristalina	7,9	12,0
Feldspato alterado (Sericitizado, Sausuritizado)	0,9	4,7
K-feldspato em fragmento de rocha plutônica	6,5	15,7
Plagioclásio detrítico	2,2	5,3
Plagioclásio monocristalino	2,1	5,3
Plagioclásio em fragmento de rocha plutônica	0,2	0,7
Feldspato indistinto	0,7	3,2
Total de fragmentos de rocha plutônica	12,1	28,8
Moscovita	1,6	3,3
Biotita	1,4	3,2
Mica em fragmento de rocha plutônica	0,3	1,0
Epidoto	0,1	0,3
Granada	0,1	0,3
Titanita	0,1	0,3
Zircão	0,1	0,3
Clinozoizita	0,1	0,5
Opacos	0,1	0,3
Total de grãos intrabaciais	0,3	2,0
Intraclasto lamoso	0,3	2,0
Componentes diagenéticos	13,5	17,7
Caulinita intergranular	0,7	3,0
Caulinita substituindo k-feldspato	0,4	0,4
Caulinita substituindo plagioclásio	0,3	0,3
Caulinita substituindo feldspato indistinto	0,7	2,0
Caulinita substituindo mica	0,3	1,3
Caulinita substituindo intraclasto/pseudomatriz	0,1	0,1
Siderita substituindo mica	0,0	0,3
Esmectita de infiltração (cutícula)	3,3	5,3
Esmectita de infiltração (caótica)	4,8	16,1
Esmectita substituindo mica	1,4	4,0
Esmectita como intraclasto/pseudomatriz	2,3	5,3
Óxido ou hidróxido de ferro	0,8	2,3
Porosidade	21,5	37,7
Intergranular	16,6	35,0
Intergranular por dissolução de grão	0,6	1,7
Intragranular em k-feldspato	0,6	0,7
Intragranular em plagioclásio	0,1	0,3
Intragranular em feldspato indistinto	0,2	1,3
Móldica	0,1	1,3
Volume granular	78,5	88,3

A tabela 03 contém os valores dos principais constituintes das amostras em seus valores médios em relação às sismossequências. Nota-se um aumento na quantidade de quartzo monocristalino e policristalino com o aumento da profundidade, do topo para a base do testemunho, e em contrapartida uma tendência de diminuição de na quantidade quartzo em fragmento de rocha plutônica, feldspatos e da porosidade.

Tabela 03 – Valores percentuais médios com os principais constituintes das amostras de cada sismossequencia.

<i>Sismossequência</i>	<i>Quartzo (mono + poli)</i>	<i>Quartzo (rocha plutônica)</i>	<i>Feldspato</i>	<i>Micas</i>	<i>Diagenéticos</i>	<i>Porosidade</i>
<i>E</i>	13,8	6,0	37,0	3,2	14,2	25,8
<i>D</i>	18,3	5,2	39,5	4,3	9,0	23,7
<i>C</i>	16,6	8,7	36,9	2,6	17,1	18,1
<i>B</i>	26,5	2,8	32,2	3,3	12,3	22,9
<i>A</i>	32,2	3,1	34,8	3,0	13,0	13,9

4.3. Constituintes Diagenéticos

Os principais constituintes diagenéticos identificados nos arenitos estudados foram os argilominerais (1) esmectita e (2) caulinita, (3) óxidos e hidróxidos de ferro e raramente (4) sílica syntaxial.

1) O principal constituinte diagenético dos arenitos é a **esmectita**, que está presente na grande maioria das amostras, chegando a alcançar o percentual máximo de 29% e médio de 11,9%, ocupando os espaços intergranulares e como cutículas irregulares em grãos detríticos.

Durante o estudo verificou-se a presença de esmectitas com características típicas de infiltração mecânica, como cutículas irregulares (Fig. 7), pontes e agregados maciços preenchendo os poros. A esmectita ocorre também como intraclastos esmagados por compactação gerando pseudomatriz. Além da observação petrográfica, utilizou-se o EDS para identificação do argilomineral (Fig. 8).

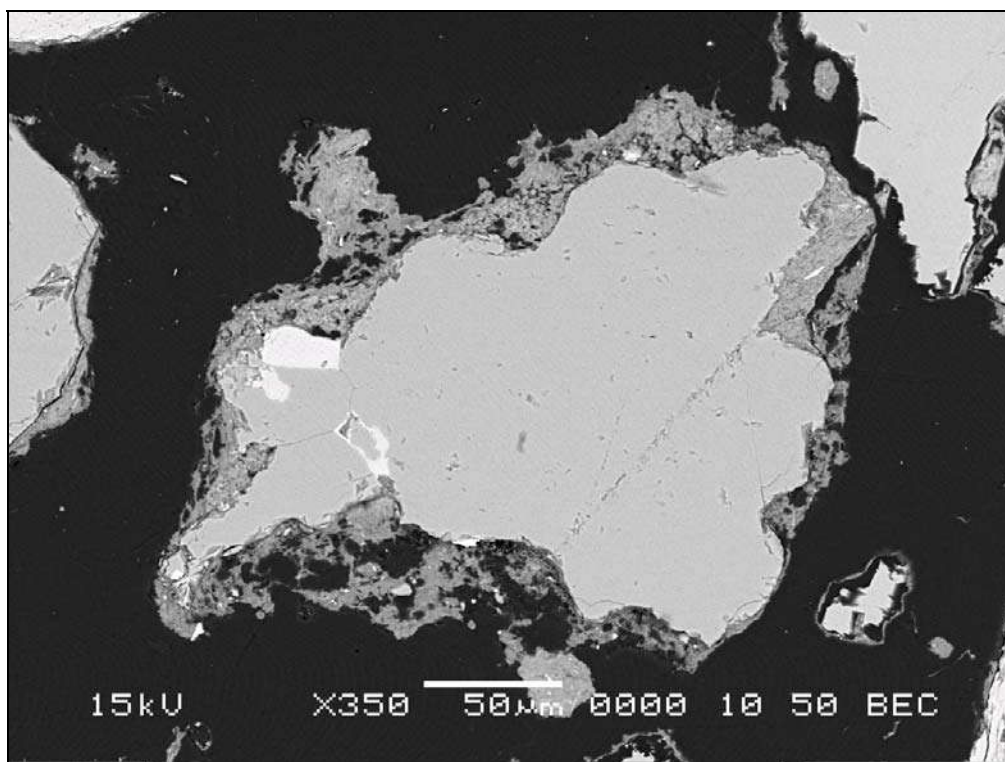


Fig. 7 - Cutícula irregular de esmectita, característica de infiltração mecânica, sobre grão de quartzo. Profundidade de 134,35 m (microscópio eletrônico de varredura; aumento de 350X).

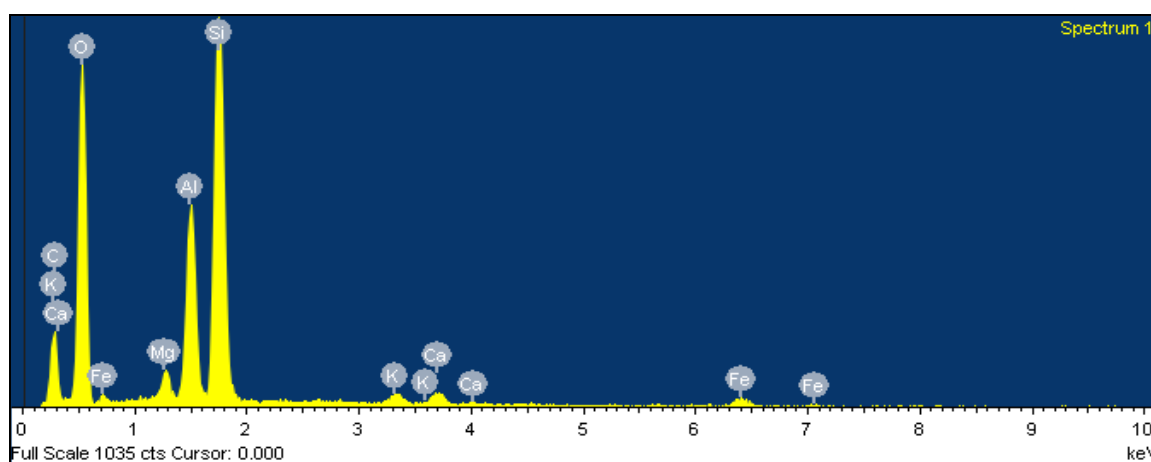


Fig. 8 - EDS da argila como cutícula observada na figura anterior, onde pela associação de picos, identificou-se o argilomineral como esmectita.

2) A **caulinita** é o segundo constituinte diagenético mais importante, ocorre como substituição de feldspatos e moscovita e mais raramente precipitada em poros intergranulares (Fig.9). A caulinita ocorre sob forma de “livrinhos” (textura booklet), concentrações vermiculares constituindo “fantasmas” de grãos totalmente substituídos por esse tipo de cimento e como moscovitas expandidas. Quando as

moscovitas não são totalmente substituídas, a caulinita se desenvolve como pequenos filmes nas extremidades desse mineral, formando feições similares a vassouras (Fig. 11)

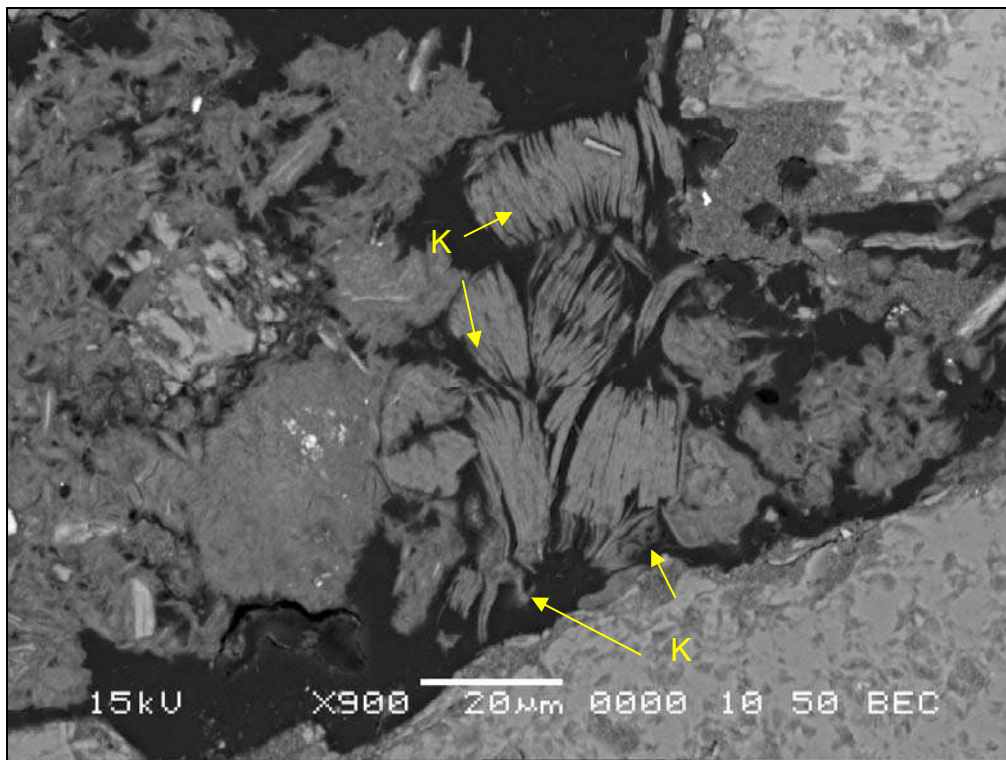


Fig. 9 - Precipitação de caulinita (K) na profundidade de 189,80 m (microscópio eletrônico de varredura; aumento de 900X).

Assim como para as esmectitas, realizou-se EDS utilizando o MEV para obter-se a composição química da argila, classificando-a, neste caso, como caulinita (Fig. 9).

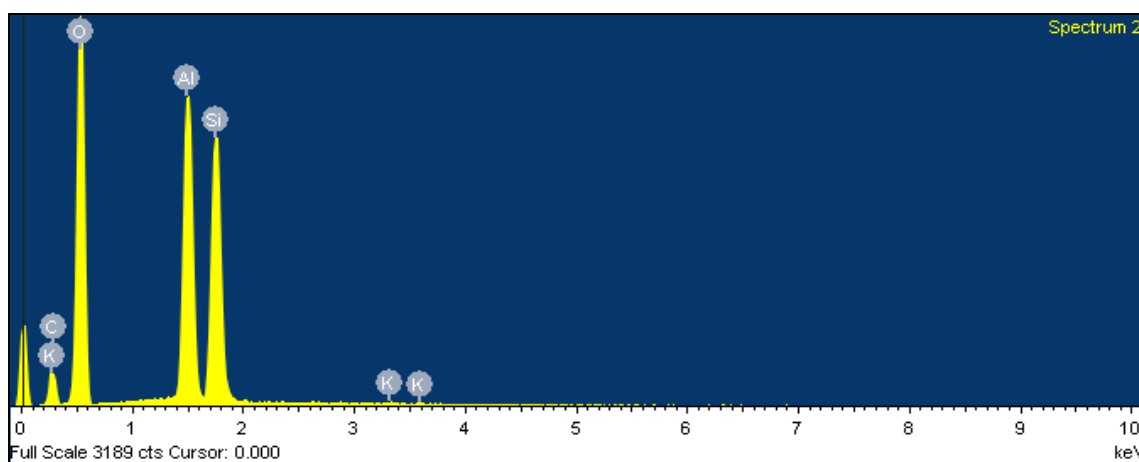


Fig. 10 - EDS da argila intergranular observada na figura anterior, onde pela associação de picos, identificou-se o argilomineral como caulinita (notar o alto pico de alumínio).

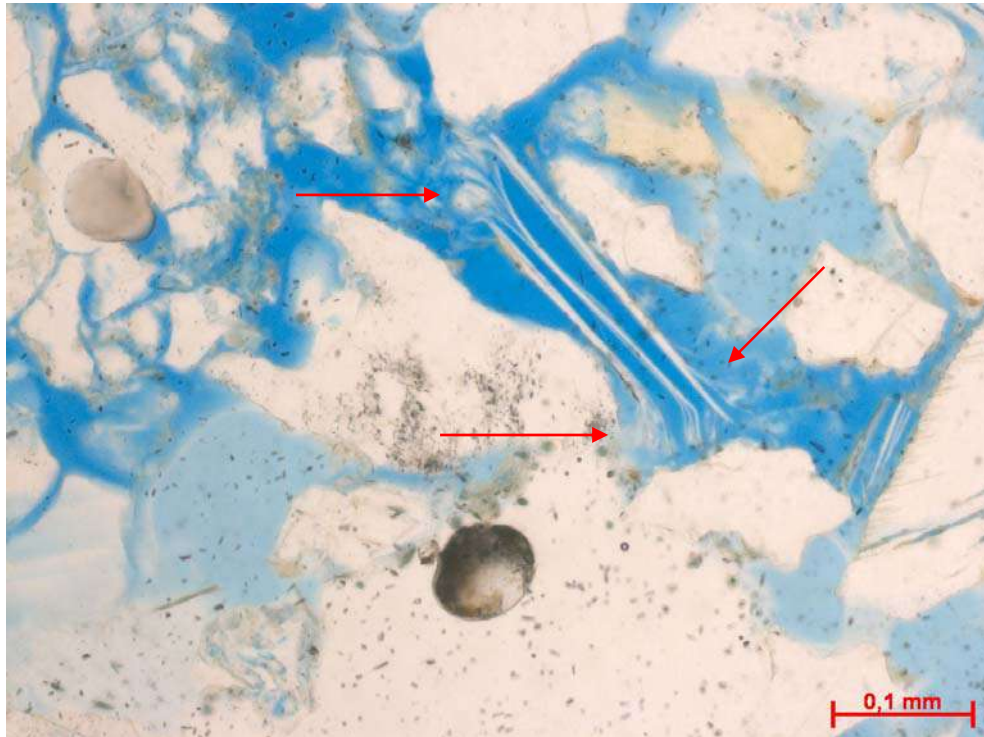


Fig. 11 - Extremidades das moscovitas alterando para caulinita, expandindo-se com hábito em vassoura (setas vermelhas). Amostra 464,80m (aumento de 20x).

3) Os **óxidos e hidróxidos de ferro** são o terceiro constituinte mais importante e são encontrados na maioria das amostras.

A forma de ocorrência desse cimento é a substituição de grãos minerais, a formação de cutículas em grãos detríticos e sobre as esmectitas e precipitação nos poros intergranulares (Fig 14 A).

4) Os **crescimentos sintaxiais** de quartzo e feldspato são pouco freqüentes nos arenitos da Formação Resende e ausente nas amostras da Formação Tremembé.

O crescimento secundário se dá em continuidade óptica (Fig. 14 F) e é normalmente distinguido dos grãos que os hospedam por apresentarem uma fina película de óxidos ou argilas alinhadas na junção entre o crescimento e o próprio grão. Mais raramente é identificado o sobrecrecimento por fácies prismáticas perfeitas em grãos de quartzo.

4.4 Classificação dos arenitos

A classificação de arenitos mais utilizada é a de Folk (1980), que aplica um diagrama triangular com quartzo (Q), feldspato (F) e fragmentos líticos (F) nos vértices. Os grãos de quartzo ou feldspato em fragmentos de rochas plutônicas são também plotados nos extremos Q ou F. São considerados como L apenas os fragmentos líticos “instáveis”, como os fragmentos vulcânicos, metamórficos finos e sedimentares.

De acordo com essa classificação, os arenitos das Formações Resende e Tremembé são classificados como arcósios (Fig. 12).

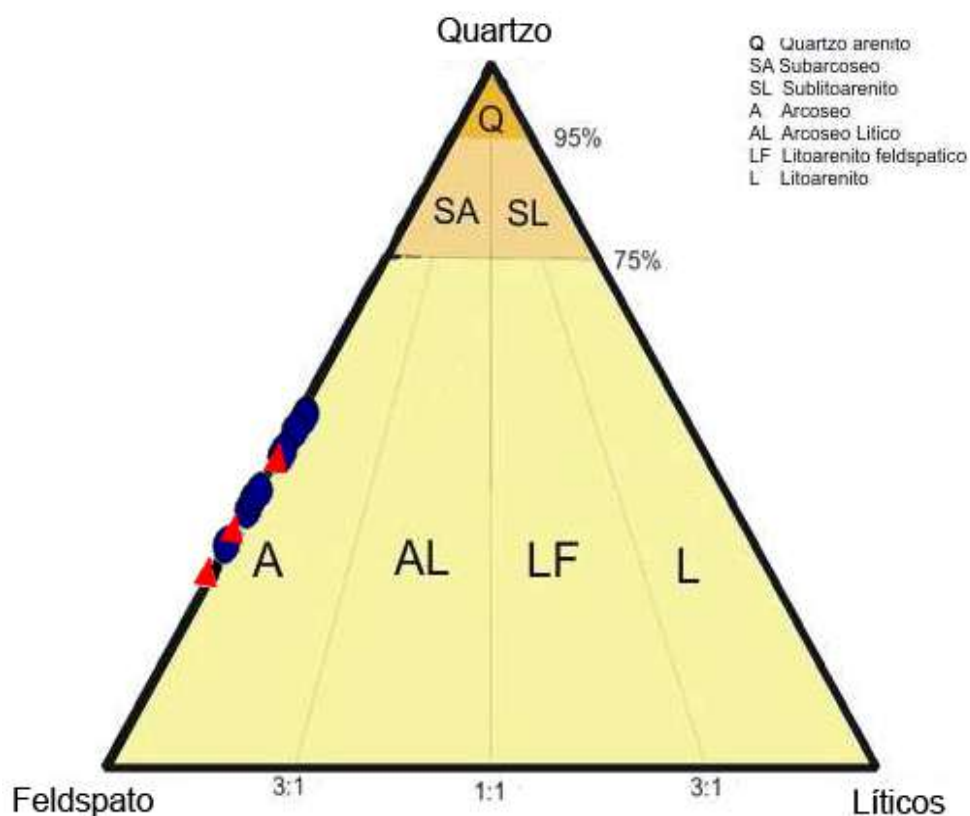


Fig. 12 – Diagrama de Folk (1980) com o plote das 15 amostras estudadas de forma quantitativa nas formações Resende (em azul) e Tremembé (em vermelho). Observa-se que todas as mostras caem no campo dos Arcósios.

5. DISCUSSÕES

5.1. Proveniência

Para discriminar as areias derivadas dos três principais ambiente de proveniência, bloco continental (interior de cráton, continental transicional e embasamento soerguido), orógeno reciclado e arco magmático (arco dissecado, arco transicional e arco não-dissecado) devem ser utilizados os diagramas Qt-F-L e Qm-F-Lt de Dickinson (1985). Os tipos de proveniência discriminados pelos diagramas acima citados estão listados no quando 01. O diagrama Qp-Lv-Ls é utilizado para discriminar complexos de subducção, zonas de colisão/faixa de cavalgamento e arco orogênico. Por sua vez o diagrama Qm-P-K serve para caracterizar associações vulcano-plutônicas circum-pacíficas.

É importante ressaltar que no diagrama de Dickinson (1985), Qt (grãos quartzosos) engloba os grãos de quartzo monocristalino (Qm), quartzo policristalino (Qp), quartzo em fragmentos de rocha plutônica (Qfrp); F (grãos feldspáticos) representa os grãos de feldspatos potássicos monocristalinos (Km), os plagioclásios monocristalinos (Pm) e também os feldspatos potássicos e plagioclásios em fragmentos de rocha plutônica; L (fragmentos líticos instáveis) engloba os fragmentos líticos vulcânicos/metavulcânicos (Lv) e fragmentos líticos sedimentares/metassedimentares (Ls).

Quadro 01 - Tipos de proveniência discriminados pelos diagramas Qt-F-L e Qm-F-Lt e os aspectos composicionais resultantes dos ambientes tectônicos (Dickinson, 1985).

Tipos de proveniência	Ambientes tectônicos	Composição das areias geradas*
Cráton estável (interior de cráton)	Intracontinental ou plataforma passiva	Areias quartzosas (ricas em Qt) com razões Qm/Qp e K/P altas
Embasamento soerguido	Rifte ou ruptura transformante	Areias quartzo-feldspáticas (Qm-F) pobres em Lt e Qp, semelhantes às da área fonte
Arco magmático	Arco de ilhas ou arco continental	Areias feldspáticas-líticas (F-L) vulcanoclásticas com razões P/K e Lv/Ls altas, gradando para areias quartzo-feldspáticas derivadas de batólitos
Orógeno reciclado	Cinturão orogênico ou complexo de subducção	Areias quartzo-líticas (Qt-Lt) ricas em Ls (sedimentares e meta-sedimentares), pobres em F e Lv, com razões Qm/Qp e Qp/L variáveis

Os dados obtidos por meio da identificação e contagem dos grãos do arcabouço foram plotados nos diagramas triangulares Qt-F-L e Qm-F-Lt de Dickinson (1985) para análise de maturidade e proveniência de arenitos. Este diagrama enfatiza a estabilidade dos grãos, o intemperismo, o relevo da área fonte, os mecanismos de transporte, bem como a rocha-fonte. Como resultado, observa-se que as amostras são classificadas na categoria de bloco continental, proveniente de embasamento soerguido (Fig. 13)

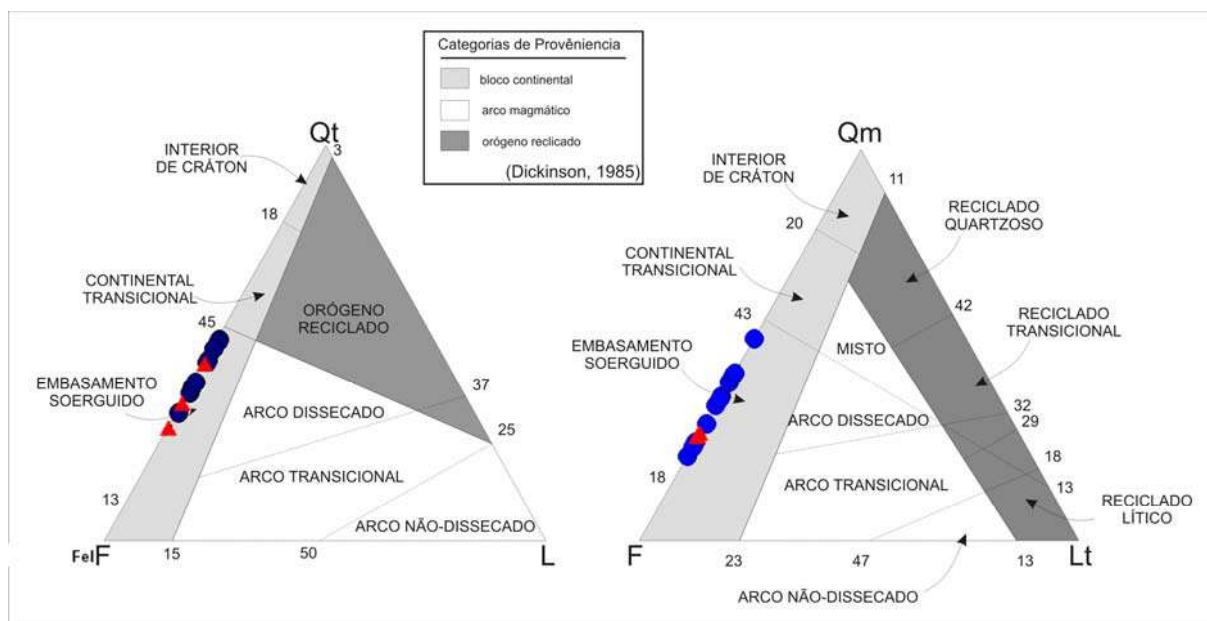


Fig. 13 - Diagramas indicadores dos tipos principais de proveniência (bloco continental, arco magmático e orógeno reciclado) e suas subdivisões (Dickinson, 1985). Foram quantificadas 15 amostras do poço PINDA-2-SP. Sendo as azuis da Formação Resende e as vermelhas da Formação Tremembé.

5.1.1 Bloco continental

O bloco continental, como área fonte, pode apresentar-se como interior de cráton, continental transicional e embasamento soerguido

Os sedimentos derivados de interior de cráton são depositados sobre o próprio cráton ou ao longo das margens continentais rifteadas. Os arenitos são caracterizados pela presença de grande quantidade de quartzo e de poucos fragmentos líticos. Estes arenitos são mais maduros e refletem sua derivação a partir de complexos cristalinos cratônicos e de rochas sedimentares existentes sobre a plataforma. São tipicamente policíclicos e podem conter mais de 95% de quartzo monocristalino. Os fragmentos líticos podem ser derivados de arcos magmáticos antigos ou de complexos metamórficos, com suas raízes expostas em área de cráton. O feldspato potássico é bastante resistente ao intemperismo e sua presença

reflete a derivação a partir de rochas graníticas, embora possa ter sofrido reciclagem. Uma diminuição na maturidade dos arenitos derivados do bloco continental é indicativa de que as coberturas sedimentares foram retiradas, expondo as rochas do embasamento.

Quando derivados de ambiente continental transicional, os arenitos tem proporções menores de quartzo e maiores de feldspatos em relação aos sedimentos derivados de interior de cráton, ou seja, são sedimentos menos maduros.

Os arenitos derivados de rochas do embasamento soerguido são predominantemente feldspáticos e se acumulam em bacias lineares adjacentes. Estes arcósios constituem depósitos pouco extensos associados à falhamentos em blocos ou constituem depósitos residuais sobre embasamento granítico. Podem ocorrer também arenitos líticos derivados de cobertura sedimentar e de rochas metamórficas da área fonte.

Em termos de proveniência o feldspato potássico pode indicar derivação a partir de rochas graníticas. Geralmente é resistente ao intemperismo apesar de sofrer algumas alterações durante o transporte desde a área fonte até o sítio de deposição. Isso corrobora com o fato de que os sedimentos desta bacia são provenientes das rochas da Serra da Mantiqueira, e com menos contribuição, da Serra do Mar, e provém de rochas granítico gnáissicas. Daí a grande quantidade de feldspatos no arcabouço.

5.2. Diagênese

A diagênese engloba os processos físicos e químicos que afetam os sedimentos após a sua deposição e durante os primeiros mil de metros de soterramento, ocorrendo a baixas temperaturas ($< 200^{\circ}\text{C}$) e pressões ($< 2000\text{ kg/cm}^2$), e na presença de grande quantidade de soluções aquosas, com diferentes valores de salinidade. As alterações diagenéticas são classificadas com base em limites de temperatura e soterramento (*sensu* Morad et al., 2000), conforme segue:

- (i) **Eodiagênese** – engloba as alterações que ocorrem a profundidades de soterramento inferiores a 2 km e temperaturas inferiores a 70°C , onde a química das águas intersticiais é controlada pelas águas do ambiente deposicional e/ou circulação das águas superficiais, onde as características deposicionais (textura, estruturas, geometria dos sedimentos) influem no fluxo de fluidos. É também a fase principal de expulsão da água e perda de porosidade por compactação;
- (ii) **Mesodiagênese** – engloba as alterações que ocorrem a profundidades de soterramento superiores a 2 km e temperaturas superiores a 70°C , caracterizado por um efetivo isolamento da superfície e dos fluidos superficiais, onde os fluidos diagenéticos são modificados pelas reações com os minerais;
- (iii) **Telodiagênese** – engloba alterações decorrentes de soerguimento (*uplift*) ou da infiltração profunda de águas meteóricas, com o retorno às condições superficiais de rochas anteriormente submetidas às alterações mesodiagenéticas.

As alterações eodiagenéticas têm forte controle por parte de fatores relacionados ao ambiente deposicional, tais como a textura, composição detrítica, conteúdo de matéria orgânica, composição de fluidos intersticiais deposicionais, clima e características hidrológicas da bacia (Morad, 1998). Essas alterações

promovem a interação entre sedimentos e fluidos superficiais. A intensidade da eodiagênese é função da taxa de sedimentação: quando alta, os sedimentos são rapidamente soterrados e isolados dos efeitos superficiais; quando baixa, ocorre prolongada exposição às influências superficiais (De Ros, 1996).

As alterações mesodiagenéticas, em virtude do restrito fluxo de fluidos durante a diagênese profunda, são muito influenciadas pela porosidade e permeabilidade remanescentes, apresentando menor relação com fácies deposicionais, e abrangência espacial que transpassa os limites entre fácies, face à maior correlação com padrões de circulação de fluidos em escala regional (Stonecipher, 2000). Desta forma, bruscas variações verticais e laterais na suíte de alterações diagenéticas são mais comumente relacionadas a controles deposicionais, e associadas a reações eodiagenéticas.

5.3 Fases diagenéticas identificadas nas Formações Resende e Tremembé

A eodiagênese, única fase presente nos arenitos estudados, foi caracterizada pela baixa compactação mecânica; infiltração mecânica de argilas, dissolução de minerais detríticos, cimentação por óxido e hidróxido de ferro, formação de argilominerais e raramente o crescimento secundário em grãos de quartzo e feldspato. A geração dos principais constituintes nos processos eodiagenéticos são explicadas a seguir.

Esmectitas

Como as esmectitas são argilominerais quimicamente complexos, hidratados e com grande riqueza iônica, todos os processos de significativa autigênese de esmectita em arenitos envolvem fontes internas de íons, representadas basicamente pela alteração eodiagenética de constituintes detríticos reativos e pouco estáveis.

A fonte dos íons em muitos arenitos com esmectitas autigênicas é a alteração eodiagenética de fragmentos vulcânicos (e.g, Davies et al., 1979; Surdam e Boles, 1979; Hawlader, 1990; Tang et al, 1994; De Ros et al., 1997; Ryu e Niem, 1999). Esmectitas autigênicas também são produzidas pela alteração de feldspatos e minerais ferromagnesianos detríticos em ambientes eodiagenéticos continentais de clima seco (Walker, 1976; Kesler, 1978; Walker *et al.*, 1978; Winspear e Pye, 1995; Silva e Anjos, 1996).

No entanto, detalhadas análises de petrografia ótica não identificaram materiais vulcânicos e ferromagnesianos, ou seus resquícios, nos arenitos estudados, descartando a hipótese de esmectita autigênica.

Moraes e De Ros (1990) descrevem texturas peculiares para as esmectitas com origem de infiltração mecânica, a saber: a) cristas ou pontes lamelares orientadas perpendicularmente aos grãos, produzidas por meniscos de água entre os grãos na zona vadosa; b) agregados floclados formados sob condições estagnantes; c) fábricas geopetais, com a parte superior dos grãos forradas por argilas; d) cutículas contínuas (*coatings*), compostas por lamelas orientadas paralelamente aos grãos; e) níveis argilosos maciços obstruindo os poros.

De acordo com a morfologia observada desse argilomineral nas amostras estudadas, conclui-se que sua fonte é a infiltração mecânica de esmectitas detríticas. São argilas intersticiais, essencialmente sob a forma de películas (*coatings*) que recobrem os grãos. Estas películas alinham-se paralelas à superfície dos grãos do arcabouço, raramente formando pontes entre grãos. E em alguns casos, preenchem os poros como uma massa sem estrutura.

Estas argilas são introduzidas pelas águas de enchentes fluviais episódicas, enxurradas carregadas de carga em suspensão passam sobre os sedimentos e grandes volumes de água infiltram-se nesses depósitos, indo abastecer o lençol freático. Neste processo, como a argila em suspensão é bem menor do que as “gargantas” dos poros, e a vazão de infiltração é, de início, bastante alta, as lamelas de argila são carregadas até que a diminuição da vazão promova sua decantação na superfície dos grãos, onde aderem.

Caulinita

A caulinita é um argilomineral composto por alumínio, silício, oxigênio e OH, ela tem uma estrutura simples de camadas 1:1 em que não ocorrem substituições por outros íons, visto que não há deficiência de carga na sua estrutura (Worden e Morad, 2003). A formação de caulinita se dá, portanto, em ambientes com deficiência de íons, ambientes muito diluídos, com muita lixiviação (fluxo de água meteórica) ou presença de ácidos. Esses fluidos dissolvem os minerais detríticos do arenito, como o feldspato (rico em alumínio) e tornam seus componentes disponíveis para a precipitação de caulinita, como visto nas figuras 14 B e C.

Nas amostras estudadas foram observados feldspatos em substituição direta por caulinita, assim como moscovitas (Fig. 14 E), também ricas em alumínio, e feldspatos dissolvidos, gerando componentes para a precipitação da caulinita intergranular, também encontrada nos arenitos.

Alguns grãos de feldspatos são tão intensamente afetados pela dissolução que mantêm apenas os contornos do grão original (Fig. 14 D).

ESTAMPA I

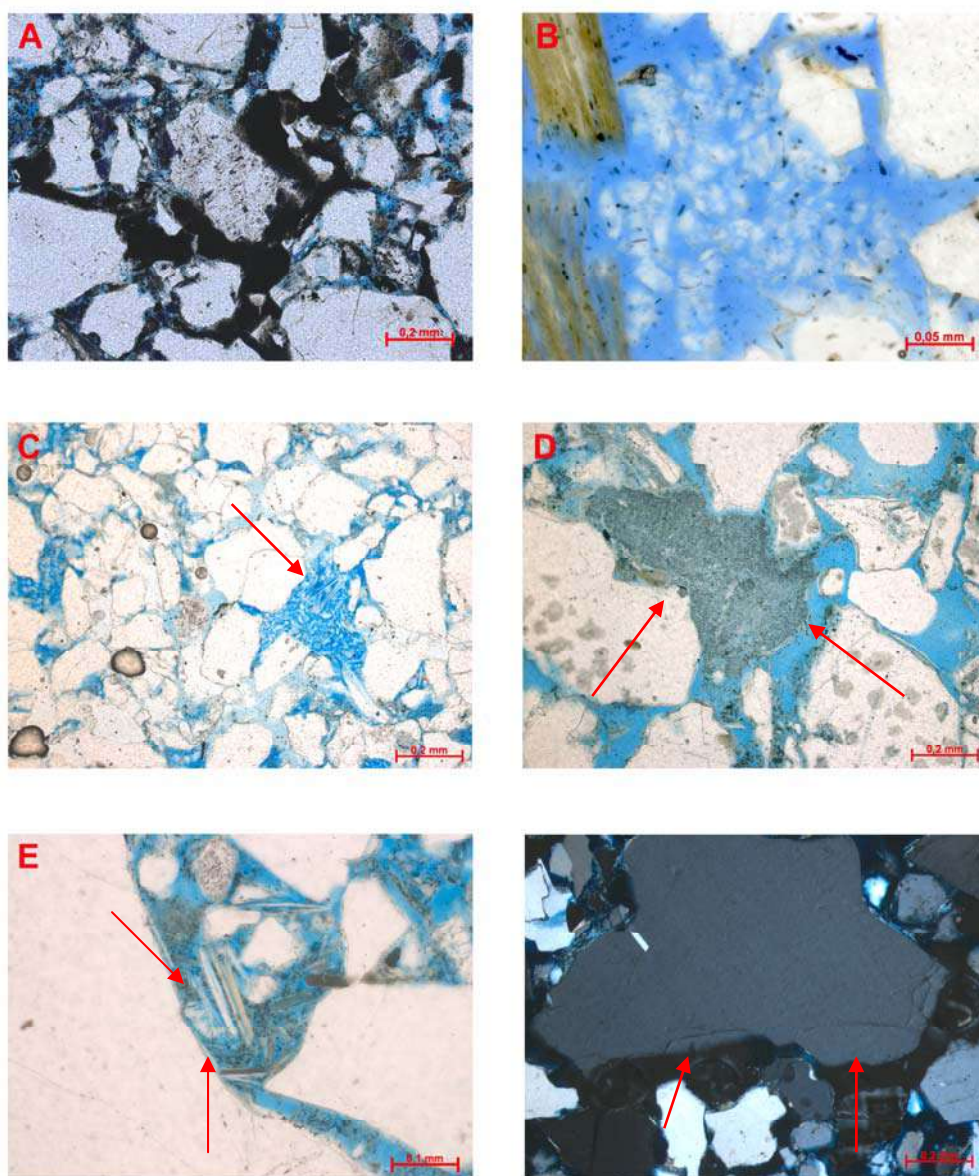


Figura 14 – Aspectos de cimentação. **A)** Cimento ferruginoso (óxidos e hidróxidos de ferro) preenchendo poro intergranular na amostra 178,30m (aumento de 10x); **B)** Caulinita precipitada em poro intergranular na amostra 464,80m (aumento de 40x); **C)** Caulinita precipitada em local onde houvera um feldspato, após dissolução completa do mesmo (seta vermelha). Profundidade 521,80m (aumento de 10x); **D)** Caulinita substituindo totalmente grão de feldspato, restando apenas os contornos do grão original (setas vermelhas). Amostra 547,10m (aumento de 10x); **E)** Moscovita sofrendo substituição por caulinita, lamelas expandido com habito em vassoura (setas vermelhas). Amostra 614,85m (aumento de 20x); **F)** Sobrecrecimento de sílica sintaxial em quartzo (setas vermelhas) na amostra 464,80m (aumento de 10x).

Óxidos e Hidróxidos de Ferro

Segundo Stradioto *et al* (2008) a dissolução de minerais pesados pode contribuir significativamente para a precipitação de óxidos e hidróxidos de ferro, como também para o aumento da concentração de íons de Fe e Mg em solução.

As amostras analisadas contém uma quantidade significativa de minerais pesados o que possivelmente serviu de fonte para o cimento ferruginoso encontrado nos poros (Fig. 14 A e 17 B), substituindo as esmectitas ou como cutícula de grãos detríticos. Esse processo parece ter ocorrido após a infiltração mecânica de argilas e a dissolução de minerais pesados.

6. COMPACTAÇÃO E POROSIDADE

As formações Resende e Tremembé estão situadas a pequenas profundidades (até 850 m) o que favorece a preservação da porosidade primária devido à compactação limitada. Esta relação é bastante clara em análise de microscopia óptica onde em algumas das amostras estudadas o arranjo original do arcabouço mantém-se praticamente inalterado, sem fortes evidências de efeitos relativos à compactação.

Porém, mesmo limitadas, as evidências de compactação mecânica encontradas foram: deformação dúctil de micas (Fig. 15 D, E e F) e de intraclastos e mais raramente o fraturamento dos cristais maiores de quartzo e feldspatos (Fig. 15 B). Os contatos são predominantemente flutuantes ou pontuais, por vezes retos e raramente côncavos-convêxos (Fig. 15 C).

A porosidade representa o somatório da porosidade primária e secundária. Os percentuais totais de porosidade nas amostras variam entre 7,0% e 37,7%, devido à heterogeneidade da distribuição dos cimentos e matriz e da geração de porosidade secundária. A porosidade primária dos arenitos é representada fisicamente pelos espaços intergranulares (méd. 16,6 – máx. 35,0). Entretanto, o percentual de porosidade intergranular dificilmente reflete a porosidade original da rocha, visto que os processos diagenéticos na maioria das vezes envolvem precipitação de materiais dentro destes espaços e redução do tamanho dos poros por compactação e/ou aumento por geração de porosidade secundária.

ESTAMPA II

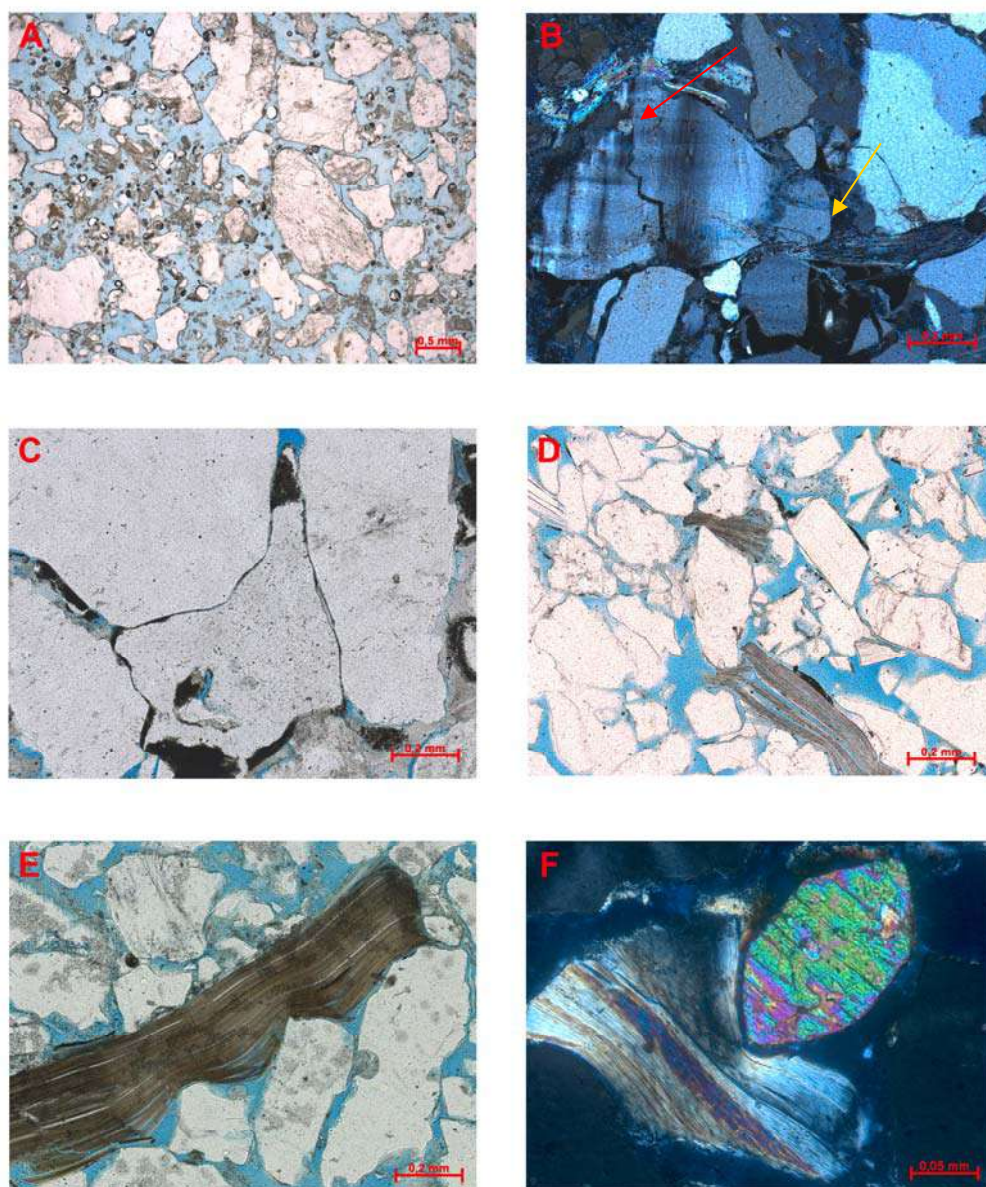


Figura 15 – Aspectos de compactação. **A)** Visão geral da amostra 165,85m, exibindo predominantemente contatos flutuantes, indicando fraca compactação (aumento de 2,5x – LN); **B)** Indício de compactação por grão fraturado (seta vermelha) e deformação de mica (seta amarela) na amostra 178,30m (aumento de 10x – LP); **C)** Compactação evidenciada por contato côncavo-convexo e contato reto na amostra 232,65m (aumento de 10x – LN); **D)** Deformação de micas na amostra 224,90m (aumento de 10x – LN); **E)** Deformação de biotita na amostra 547,10m (aumento de 10x – LN); **F)** Zircão deformando moscovita na amostra 464,80m (aumento de 40x – LP).

Nas amostras estudadas, os principais elementos que contribuíram para a diminuição da porosidade primária foram a esmectita infiltrada mecanicamente, a pseudomatriz de intraclastos argilosos, a compactação mecânica e a precipitação de óxidos e caulinita.

Os valores de porcentagem de porosidade secundária encontrados são de 1,6 a média e 2,7 a máxima. A porosidade secundária pode ser gerada durante o soterramento pela dissolução dos grãos e cimentos. Esta pode ser reconhecida por grãos parcialmente dissolvidos (Fig. 17 A, E), cutículas de argilas não dissolvidas em forma de grãos (Fig. 17 F), poros demasiado grandes no tamanho e forma de grãos, e moldes de grãos marcados por resíduos opacos ou de argilas.

Vale salientar que os valores de porosidade não são absolutos, uma vez que em alguns casos os poros secundários por dissolução total de grãos não são bem quantificados e confundem-se com poros primários, o que diminuiria o valor da porosidade primária e aumentaria o valor da porosidade secundária.

Observou-se nos arenitos apenas dissolução de grãos, não sendo evidenciada a dissolução de cimentos. Isso é devido ao fato de que a dissolução de cimentos é uma alteração mesodiagenética, fase diagenética não encontrada nos arenitos estudados. Não foi observada relação entre profundidade e aumento ou diminuição da porosidade, como mostra o gráfico da Fig. 16.

Com a atuação da diagênese houve a formação da porosidade secundária intragranular, móldica e intergranular por dissolução de grão, a formação de argilas por precipitação e alteração de grãos do arcabouço e a precipitação de opacos (óxidos e hidróxidos) (Fig. 17 B). Os grãos que mais comumente sofreram dissolução foram os feldspatos (Fig. 17 C), principalmente os k-feldspatos. No entanto os processos de dissolução foram também atuantes nos plagioclásios e minerais pesados (Fig. 17 D). Nos arenitos com quantidades significativas de pseudomatriz os feldspatos sofreram pouco com os processos de substituição e dissolução, isso se deve, provavelmente à baixa permeabilidade dessas rochas, dificultando a penetração e circulação de fluidos responsáveis pela dissolução.

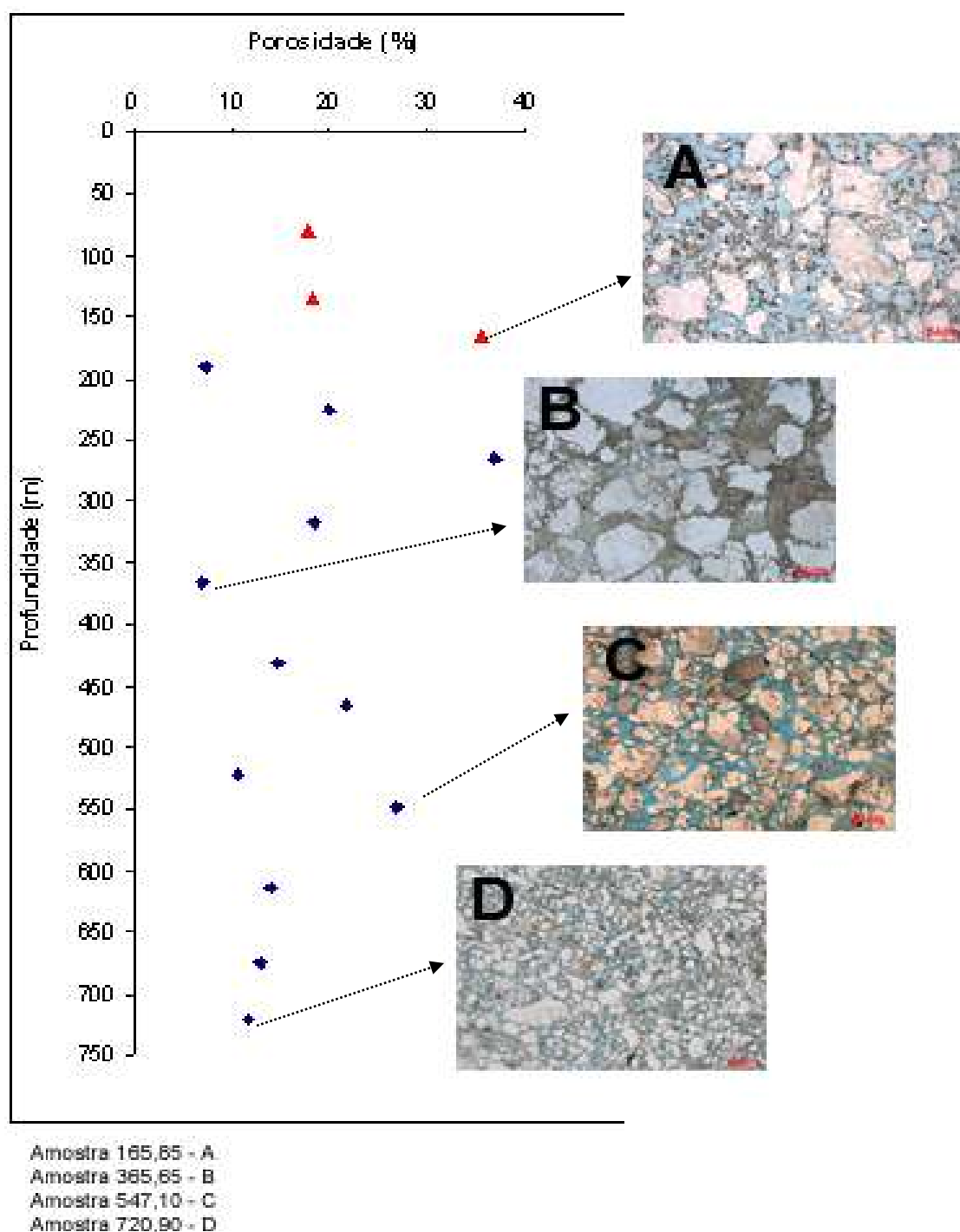


Fig. 16 – Gráfico de porosidade *versus* profundidade das 15 amostras com quantificação petrográfica. Sendo 3 (três) da Formação Tremembé (em vermelho) e 12 (doze) da Formação Resende. Sendo as figuras A e C indicando maiores valores de porosidade, observa-se os grãos predominantemente em contatos flutuantes; As figuras B e D indicam baixos valores de porosidade, observando-se na figura B grande quantidade de argila intergranular e na figura D, além da argila intergranular os grãos apresentam-se em contatos predominantemente pontuais.

ESTAMPA III

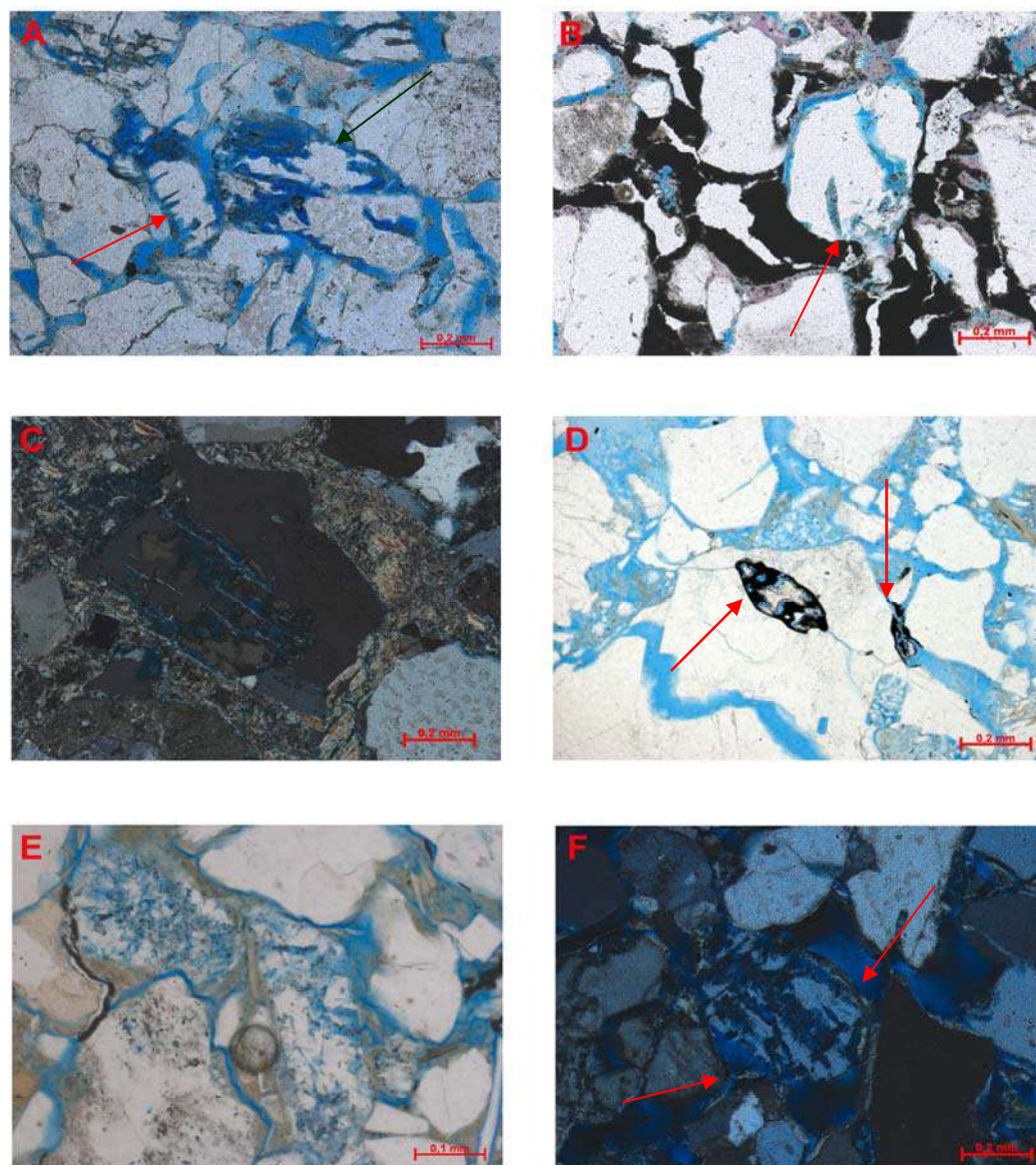


Figura 17 – Aspectos de dissolução. A) Grão de plagioclásio (seta vermelha) e grão de ortoclásio (seta verde) parcialmente dissolvido na amostra 134,35m (aumento de 10x – LN);. Nota-se também a cimentação por óxidos e hidróxidos de ferro. B) Contraste entre dissolução parcial de feldspato (seta vermelha) e precipitação de cimento ferruginoso na amostra 232,65m (aumento de 10x – LN); C) Dissolução parcial de grão de feldspato na amostra 365,65m (aumento de 10x – LP); D) Dissolução de mineral pesado (zircão) (setas vermelhas) na amostra 614,85m (aumento de 10x – LN); E) Grãos de feldspato parcialmente dissolvidos e substituídos por caulinita, com bordas evidenciadas pela cutícula de argila na amostras 720,90m (aumento de 20x – LN); F) – Dissolução de grão de feldspato, borda evidenciada por películas de argila muito finas (setas vermelhas) na amostra 430,20m (aumento de 10x – LP).

7. INFERÊNCIAS SOBRE QUALIDADE DE RESERVATÓRIOS NOS ARENITOS ESTUDADOS

Analisando os arenitos como um provável reservatório de fluidos é possível constatar que a porosidade é afetada principalmente pela compactação mecânica, transformando os intraclastos de esmectita em pseudomatriz, pela precipitação de caulinita em poros intergranulares e pela cimentação de óxidos e hidróxidos. Em relação à permeabilidade, o reservatório é afetado efetivamente pelas esmectitas como produto de infiltração mecânica, formando cutículas irregulares e pontes.

Entretanto, apesar destes fatores negativos estarem presentes, a compactação foi muito pequena, formando assim um reservatório de fluidos regular.

7.1 Impacto das esmectitas sobre a qualidade dos reservatórios

Em geral, argilominerais que costumam adquirir hábitos como franjas e cutículas ao redor dos grãos (Fig. 18 A), como as esmectitas, causam significativo impacto negativo na qualidade dos reservatórios, principalmente no que diz respeito à permeabilidade. A disposição das argilas de se depositarem sobre a superfície dos grãos gera estreitamento e até congestionamento total das gargantas dos poros (Fig. 19). No tocante a porosidade, o impacto dessa morfologia de argilas nos reservatórios é bem menos severo, pois ocupam um espaço pouco significativo do volume intergranular.

ESTAMPA IV

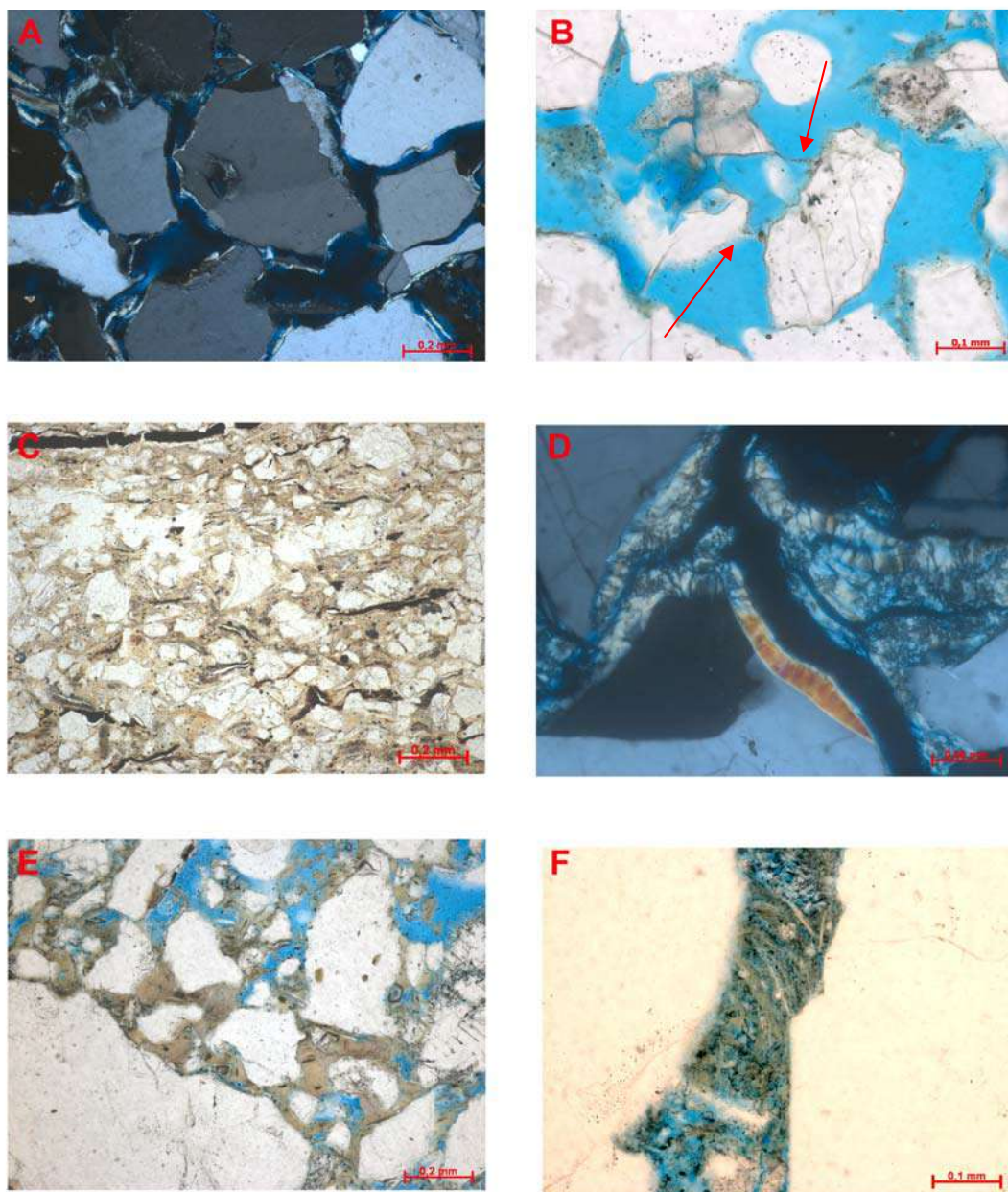


Figura 18. – Aspectos de argila mecanicamente infiltrada. A) Finas cutículas de esmectita em torno dos grãos na 430,20m (aumento de 10x – LP); B) Estrutura de pontes de argila (setas vermelhas) na amostra 134,35m (aumento de 20x – LN); C) Amostra 497,30m repleta de argila mecanicamente infiltrada preenchendo poro intergranular (aumento de 10x – LN); D) Esmectita como cutícula irregular em torno dos grãos na amostra 702,15m (aumento de 40x – LP); E) Esmectita com habito maciço preenchendo porosidade intergranular na amostra 316,95m (aumento de 10x – LN); F) Argila preenchendo poro entre grãos na amostra 614,85m (aumento de 20x – LN).

Entretanto, conforme já esclarecido neste trabalho, as amostras analisadas apresentam esmectitas de infiltração mecânica, que além do hábito de franjas e cutículas, encontram-se como massas caóticas de argila preenchendo os poros e reduzindo expressivamente a porosidade dos arenitos (Fig. 18 C e E).

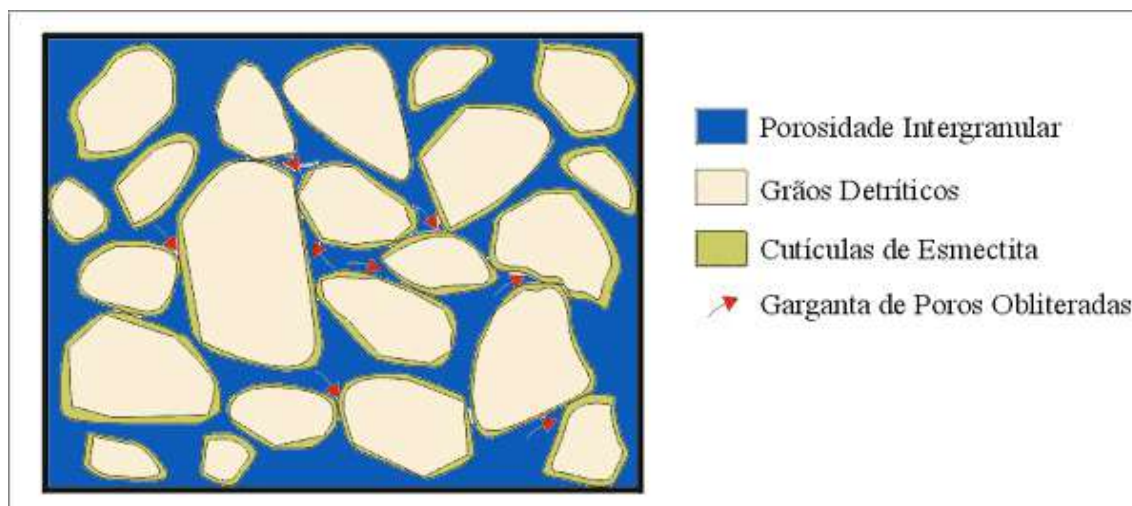


Fig. 19 - Esquema ilustrando o efeito da cimentação por esmectita como cutículas em reservatórios. As setas indicam pontos onde as gargantas dos poros foram totalmente obliteradas diminuindo consideravelmente a permeabilidade. Entretanto, a porosidade é pouco reduzida.

7.2 Impacto da caulinita sobre a qualidade dos reservatórios

Embora as caulinitas ocupem valores substanciais do volume intergranular (máx - 7,1%), seu hábito tipicamente “*pore-filling*” e sua distribuição em “ninhos” isolados dentro dos reservatórios não causa impacto importante sobre a permeabilidade. A distribuição isolada dos agregados permite que fluidos migrem com facilidade entre eles.

A caulinização de micas também contribui na diminuição dos espaços livres, pois grande parte dos poros intergranulares adjacentes às micas são ocupados durante sua expansão (fig. 20). Devido a este fato, em amostras enriquecidas em moscovitas (preferencialmente alteradas) o efeito de redução de porosidade pode

ser um pouco mais severo. Mesmo assim, o volume de poros obliterados foi pequeno, nas amostras aqui estudadas, fazendo com que o efeito da caulinita na qualidade dos reservatórios seja limitado.

Porém, ressalta-se que as caulinitas “*pore filling*” podem migrar com o óleo durante sua produção e causar a obliteração da garganta dos poros.

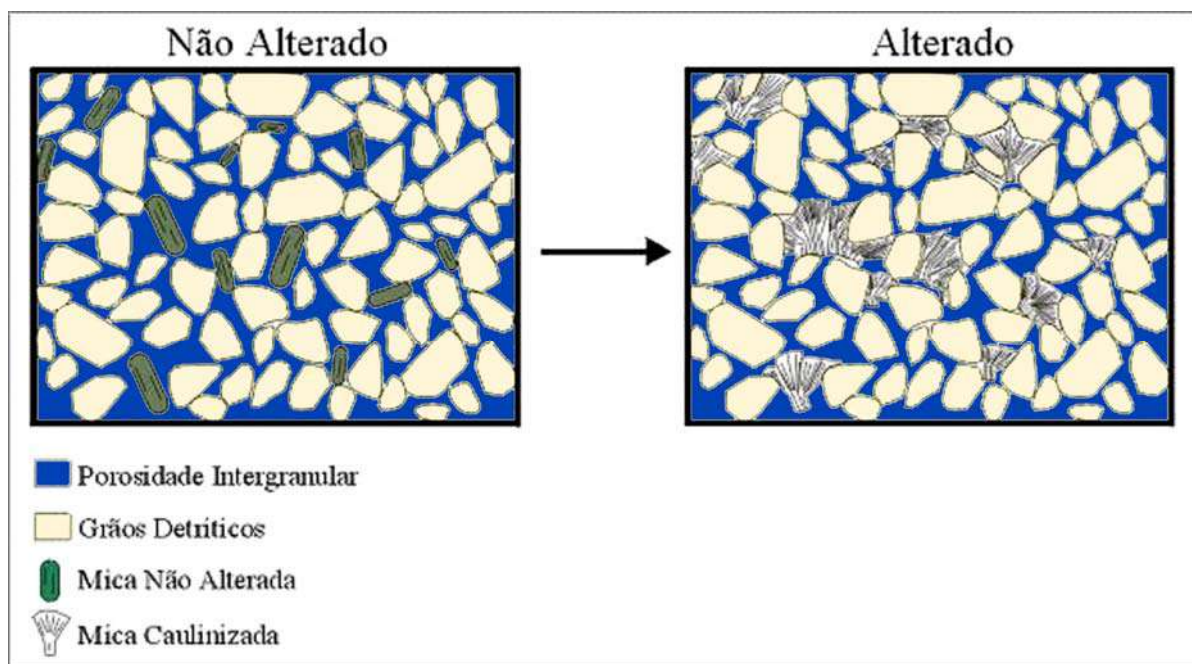


Fig. 20. Esquema ilustrando o efeito da expansão e caulinição das micas em arenitos, diminuindo a porosidade.

8. CONCLUSÕES

Os reservatórios estudados nesta monografia constituem-se de arenitos predominantemente arcóseos, de granulometria média, moderadamente selecionados, subangulosos e com bons valores de porosidade. A composição detrítica (quartzo-feldspática) e os processos diagenéticos atuantes são bastante homogêneos sendo facilmente rastreados em todo o poço.

Os principais processos diagenéticos dos arenitos são infiltração mecânica de esmectitas, compactação mecânica (embora leve), dissolução, cimentação por caulinita e óxidos e hidróxidos de ferro.

Os argilominerais identificados, tanto nos sedimentos lacustres da Formação Tremembé quanto nos depósitos da Formação Resende, correspondem principalmente aos grupos da esmectita e da caulinita.

As esmectitas ocorrem como cutículas, agregados maciços (massas de argila caótica preenchendo os poros intragranulares) e por vezes como pontes de argila e podem ser geradas pela alteração de minerais da rocha fonte como as biotitas (Suguio 1969) ou fragmentos de rochas vulcânicas (hipótese pouco provável pela ausência desses fragmentos nos arenitos estudados) e carregadas através da planície aluvial de rios entrelaçados. Durante a migração destes rios, as argilas detríticas ficam retidas em suas barras e posteriormente são infiltradas nos sedimentos arenosos.

Nas amostras 365,65 e 497,30m observou-se um acúmulo maior das esmectitas. Uma hipótese para esse acúmulo é que o nível freático encontrava-se a essas profundidades durante a deposição, pois as argilas não conseguiam ultrapassar o nível da água, ficando retidas.

Segundo Riccomini (1989) as caulinitas são atribuídas à alteração dos feldspatos pela percolação de águas ácidas. Provavelmente por água das chuvas, em estágio eodiagenético e sem a influência do meio deposicional, sendo necessária a essa transformação apenas a matéria prima (feldspato) que é bastante abundante nos arenitos das Formações Resende e Tremembé. O teor de feldspato de um sedimento é largamente controlado pela taxa de erosão e pelo clima. Um clima úmido na área fonte promove a destruição de feldspato devido ao intemperismo químico predominante, enquanto que em regiões áridas os feldspatos resistem ao intemperismo físico predominante. Entretanto, uma erosão rápida, conforme ocorre em áreas de relevo elevado, devido ao tectonismo ativo, como nas bacias tipo rift, poderá produzir grãos de feldspato, apesar de um clima úmido.

Observa-se que não há um padrão de aumento ou diminuição da porosidade em detrimento do soterramento do pacote sedimentar, assim como não há variação no padrão composicional mineralógico em todas as amostras. A luz desses dados, não foi possível fazer qualquer correlação com as sismossequências de Marquês.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, C. J., Appi, C. J. O preenchimento sedimentar da Bacia de Taubaté. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 44. 26-31. 2008, Curitiba, PR. Anais... Curitiba, PR: SBG, 2008.
- Almeida, F. F. M. The System of Continental Rifts Bordeing the Santos Basin. *And. Acad. Bras. Ci.*, Rio de Janeiro, 58(suplemento):15-26, 1976.
- Davies, D. K., Almon, W.R., Bonis, S.B. and Hunter, B.E. Deposition and diagenesis of Tertiary-Holocene volcanoclastics, Guatemala, in P. A. Scholle, and P. R. Schluger, eds., *Aspects of Diagenesis: SEPM Special Publication, Tulsa, OK, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists*, p. 281-306, 1979.
- De Ros, L.F.. Compositional controls in sandstones diagenesis. Acta Universitatis Upsaliensis, Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology 198, 24p, 1996.
- De Ros, L. F., S. Morad, and I. S. Al-Aasm. Diagenesis of siliciclastic and volcanoclastic sediments in the Cretaceous and Miocene sequences of NW African margin (DSDP Leg 47A, Site 397): *Sedimentary Geology*, v. 112, p. 137-156, 1997.
- Dickinson, W.R. Interpreting provenance relation from detrital modes of sandstones. In: Zuffa, G.G. (ed) *Provenance of arenites*. Dordrecht, D. Reidl Publ., p.333-361. (NATO Series), 1985.
- Fernandes, F.L. Arcabouço estrutural e evolução da Bacia de Taubaté - SP. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. P. 147, 1993.
- Fernandes, F.L. & CHANG, H.K. Modelagem gravimétrica da Bacia de Taubaté – Vale do Rio Paraíba do Sul, leste do Estado de São Paulo. *Rev. Bras. Geof.*, v.19 n.2, 2001.
- Folk, R.L. Petrology of Sedimentary Rocks. *Hemphill's Publishing Company.*, Austin, Texas, p. 107, 1968.
- Folk, R.L. Petrology of sedimentary rocks. *Hemphill Publishing Company.* Austin, Texas, EUA. p.184, 1980.
- Hasui, Y. & Ponçano, W.L. Organização estrutural e evolução da Bacia de Taubaté. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 30, 1978, Recife. Anais... Recife: Sociedade Brasileira de Geologia, v. 1, p. 368-381, 1978.
- Hawlder, H. M. Diagenesis and reservoir potential of volcanogenic sandstones - Cretaceous of the Surat Basin, Australia: *Sedimentary Geology*, v. 66, p. 181-195, 1990.

Kessler II, L. G., Diagenetic sequence in ancient sandstones deposited under desert climatic conditions: *Journal of Geological Society*, London, v. 135, p. 41-49, 1978.

Maques, A. Evolução tectono-sedimentar e perspectivas exploratórias da Bacia de Taubaté, SP, Brasil. *Boletim de Geociências da Petrobras*, v. 4, n. 3, p. 253-262, 1990.

Moraes, M.A.S. & De Ros, L.F. Infiltrated clays in fluvial Jurassic sandstones of Recôncavo Basin, northeastern Brazil. *Journal of Sedimentary Petrology*, 60(6): 809-819, 1990.

Morad, S. Carbonate cementation in sandstone: distribution patterns and geochemical evolution. In: S. Morad (ed.) Carbonate cementation in sandstone. *International Association of Sedimentologists Special Publication*, 26. Blackwell Science. p. 1-26, 1998.

Morad S., Ketzer J. M. and DE ROS L. F. Spatial and temporal distribution of diagenetic alterations in siliciclastic rocks: implications for mass transfer in sedimentary basins. *Sedimentology* 47 (Suppl. 1), 95 – 120, ., 2000

Pettijohn, F. J., Potter, P. E., and Ever, R. *Sand and sandstone*. Springer-Verlag, New York. 1972

Riccomini, C. *O Rift Continental do Sudeste do Brasil*. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. p. 256, 1989.

Ryu, I.-C., and A. R. Niem. Sandstone diagenesis, reservoir potential, and sequence stratigraphy of the Eocene Tyee Basin, Oregon: *Journal of Sedimentary Research*, v. 69, p. 384-393, 1999.

Silva, C. M. A., and Anjos, S. M. C. Diagênese dos arenitos do Membro Mucuri, Cretáceo Inferior das Bacias do Espírito Santo e de Mucuri: *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, v. 10, p. 61-80, 1996.

Suguio, K. *Contribuição à geologia da Bacia de Taubaté, Vale do Paraíba – Estado de São Paulo*. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo. p. 106, 1969.

Surdam, R. C., and Boles, J. R. Diagenesis of volcanic sandstones, in P. A. Scholle, and P. R. Schluger, eds., *Aspects of Diagenesis: SEPM Special Publication*, Tulsa, Okla., Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, p. 227-242, 1979.

Stonecipher, S.A. Applied sandstone diagenesis: Practical petrographic solutions for a variety of common exploration, development, and production problems, *SEPM Short Course Notes*, 50, p. 143, 2000.

Stradioto, M. R., Kiang C. H., Caetano-Chang M. R. Caracterização petrográfica e aspectos diagenéticos dos arenitos do Grupo Bauru na região sudoeste do Estado de São Paulo. *Geociências REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto*. 61(4): 433-441, 2008.

Tang, Z., Parnell, J., and Ruffell, A. H. Deposition and diagenesis of the lacustrine-fluvial Cangfengou Group (uppermost Permian to Lower Triassic), southern Junggar Basin, NW China: a contribution from sequence stratigraphy: *Journal of Paleolimnology*, v. 11, p. 67-90, 1994.

Vespucchi, J.B.O. *Sistemas deposicionais e evolução tectono-sedimentar da Bacia de Taubaté – SP*. Tese (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geologia, Universidade São Paulo, p. 98, 1984.

Vidal, A. C., Fernandes F. L., Chang H. K. Distribuição dos Arenitos na Bacia de Taubaté – SP. São Paulo, UNESP, *Geociências*, v. 23, n. 1/2, p. 55-66, 2004.

Walker, T. R. Diagenetic origin of continental red beds, in H. Falke, ed., The Continental Permian in Central, West, and South Europe, Dordrecht, *D.Reidel Pub.*, p. 240-282, 1976.

Walker, T. R., Waugh, B., and Crone, A. J. Diagenesis in first-cycle desert alluvium of Cenozoic age, southwestern United States and northwestern Mexico: *Geological Society of America Bulletin*, v. 89, p. 19-32, 1978.

Wentworth, C.K.,. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30, 377-392. 1922

Winspear, N. R., and Pye, K. The origin and significance of boxwork clay coatings on dune sand grains from the Nebraska Sand Hills, USA: *Sedimentary Geology*, v. 94, p. 245-254, 1995.

Worden, R.H. & Morad, S. Clay minerals in sandstone: controls on formation, distribution and evolution. In: R.H. Worden & S. Morad (eds) Clay Mineral Cements in Sandstones. *International Association of Sedimentologists Special Publication*, 34, Editora Blackwell. pp. 3-41, 2003.

APÊNDICE A₁ – Descrição petrográfica das lâminas delgadas

Amostra 55,40m

Descrição Microscópica:

A rocha corresponde a arenito fino a médio, subanguloso, moderadamente selecionado. Constituído por ortoclásio, quartzo monocristalino, microclina, fragmento de rocha plutônica, plagioclásio, quartzo policristalino, biotita, moscovita, intraclasto carbonático. Como minerais acessórios ocorrem epidoto, granada e zircão. Os constituintes diagenéticos são os minerais opacos.

Qualidade de Reservatório:

Porosidade boa; intergranular e intragranular. Predomínio de contatos flutuantes, por vezes pontuais.

Eventos Diagenéticos:

Pouca compactação, opacos como cutícula e recobrindo minerais, fraca dissolução de feldspatos.

Amostra 79,95m

Descrição Microscópica:

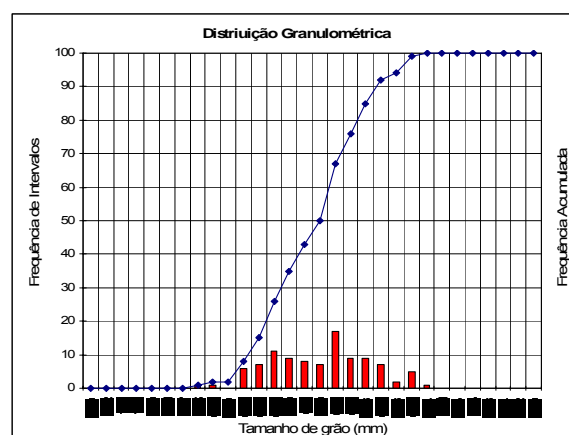
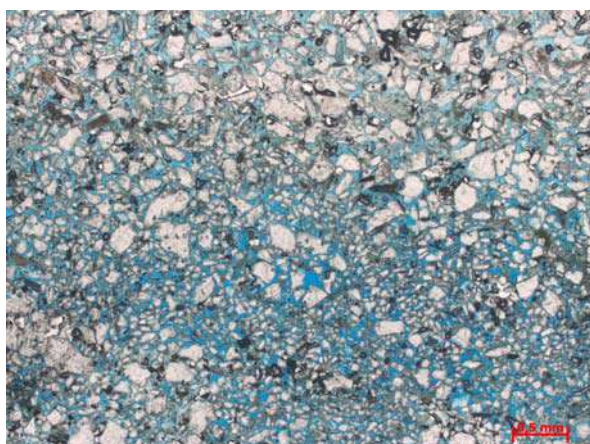
A rocha corresponde a interlaminado de arenito muito fino e arenito fino a médio, subanguloso, moderadamente selecionado. Constituído por ortoclásio, quartzo monocristalino, microclina, fragmento de rocha plutônica, plagioclásio, quartzo policristalino, biotita, moscovita, argila mecanicamente infiltrada. Como minerais acessórios ocorrem epidoto, zircão, apatita e granada. Os constituintes diagenéticos são esmectitas, minerais opacos e caulinita.

Qualidade de Reservatório:

Porosidade boa; intergranular e intragranular. Predomínio de contatos flutuantes, por vezes pontuais.

Eventos Diagenéticos:

Pouca compactação, finas películas de esmectitas, opacos como cutícula ou preenchendo poro, dissolução de feldspatos, moscovita e feldspatos caulinizados.



Amostra 79,95m - Visão geral da lâmina (aumento de 2,5x) e gráfico de distribuição granulométrica

APÊNDICE A₂ – Descrição petrográfica das lâminas delgadas

Amostra 125,15m

Descrição Microscópica:

A rocha corresponde a arenito médio, pobremente selecionado, subanguloso a subarredondado. Constituído por ortoclásio, quartzo monocristalino, microclina, fragmento de rocha plutônica, plagioclásio, quartzo policristalino, biotita, moscovita, argila mecanicamente infiltrada. Como minerais acessórios ocorrem epidoto, zircão, turmalina, granada, apatita, clinozoizita. Os constituintes diagenéticos são esmectitas e minerais opacos.

Qualidade de Reservatório:

Porosidade regular, intergranular e intragranular. Os contatos são pontuais e em alguns locais são retos.

Eventos Diagenéticos:

Compactação, argila infiltrada como cutícula, minerais opacos como cutícula e recobrindo minerais pesados, dissolução de feldspatos.

Amostra 134,35m

Descrição Microscópica:

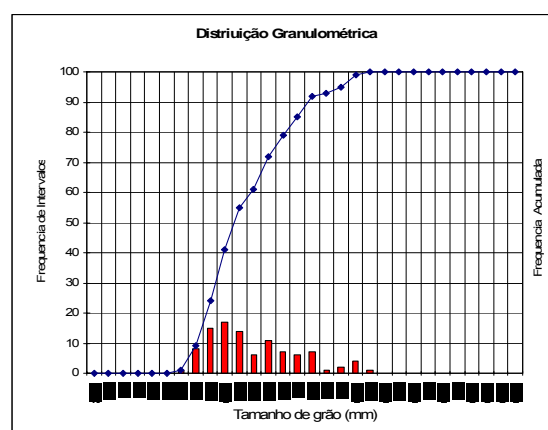
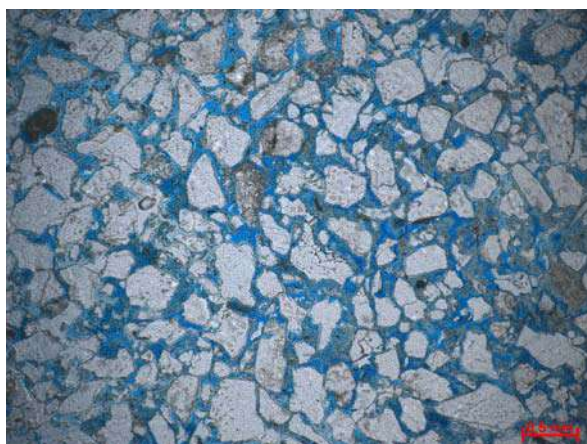
A rocha corresponde a arenito médio, moderadamente selecionado, subanguloso a anguloso. Constituído por ortoclásio, quartzo monocristalino, microclina, fragmento de rocha plutônica, plagioclásio, quartzo policristalino, biotita, moscovita, intraclasto lamoso, argila mecanicamente infiltrada. Como minerais acessórios ocorrem apatita, granada, intraclasto carbonático. Os constituintes diagenéticos são esmectitas e minerais opacos e alguma caulinita.

Qualidade de Reservatório:

Porosidade boa, intergranular e intragranular. Grãos em contato pontual ou flutuante.

Eventos Diagenéticos:

Finos filmes de argila, opacos substituindo mineral pesado e como cutícula, dissolução de feldspato, caulinição de moscovita e feldspatos, dissolução de moscovitas.



Amostra 134,35m - Visão geral da lâmina (aumento de 2,5x) e gráfico de distribuição granulométrica.

APÊNDICE A₃ – Descrição petrográfica das lâminas delgadas

Amostra 146,35m

Descrição Microscópica:

A rocha corresponde a arenito muito fino, com grãos de tamanho grosso, subanguloso, moderadamente selecionado. Exibe uma laminação dada pela orientação de micas. Constituído por ortoclásio, quartzo monocristalino, microclina, fragmento de rocha plutônica, plagioclásio, quartzo policristalino, biotita, moscovita, argila intergranular infiltrada. Como minerais acessórios ocorrem zircão, apatita, granada, epidoto e titanita (?). Os constituintes diagenéticos são esmectitas e minerais opacos.

Qualidade de Reservatório:

Porosidade regular, intergranular, intragranular e de micro fraturas. Os contatos pontuais.

Eventos Diagenéticos:

Pouca compactação, argila mecanicamente infiltrada como cutícula, óxidos como cutícula e recobrimdo minerais pesados, dissolução de feldspatos.

Amostra 165,80m

Descrição Microscópica:

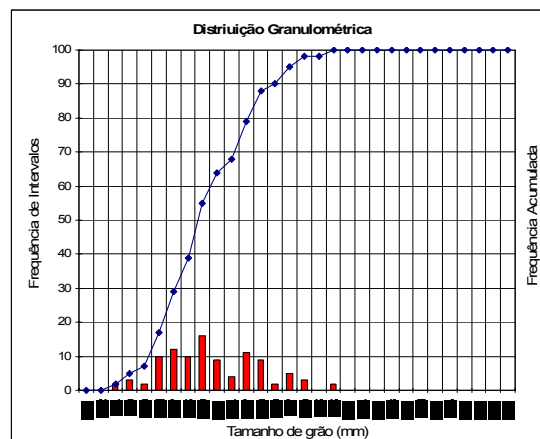
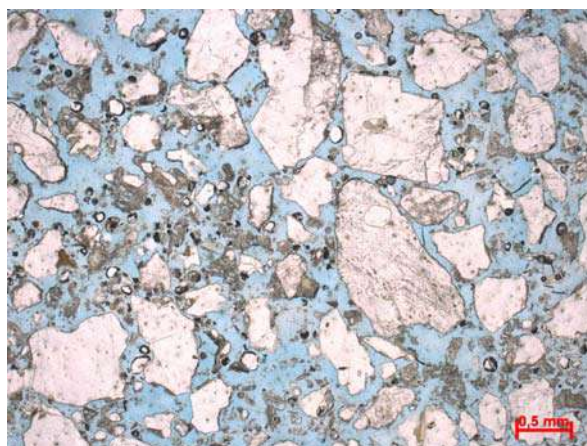
A rocha corresponde a arenito grosso, subanguloso, moderadamente selecionado. Constituído por ortoclásio, quartzo monocristalino, microclina, fragmento de rocha plutônica, plagioclásio, quartzo policristalino, biotita, moscovita, intraclasto lamoso, argila mecanicamente infiltrada. Como minerais acessórios ocorrem apatita, zircão e turmalina. Os constituintes diagenéticos são esmectitas e minerais opacos.

Qualidade de Reservatório:

Porosidade muito boa, intergranular e intragranular. Os contatos são flutuantes. Amostra parece desagregada.

Eventos Diagenéticos:

Argila de infiltração como matriz e cutícula, opacos como cutícula, pouca dissolução de feldspatos.



Amostra 165,80m - Visão geral da lâmina (aumento de 2,5x) e gráfico de distribuição granulométrica

APÊNDICE A₄ – Descrição petrográfica das lâminas delgadas

Amostra 178,30m

Descrição Microscópica:

A rocha corresponde a arenito médio, subanguloso a subarredondado, bem selecionado. Constituído por ortoclásio, quartzo monocristalino, microclina, fragmento de rocha plutônica, plagioclásio, quartzo policristalino, biotita, moscovita, infiltração mecânica de argila. Como minerais acessórios ocorrem zircão, epidoto, apatita com inclusões no quartzo. Os constituintes diagenéticos são esmectitas, minerais opacos e caulinita.

Qualidade de Reservatório:

Porosidade regular, intergranular e intragranular. Os contatos são pontuais ou retos e há grande quantidade de cimento opaco.

Eventos Diagenéticos:

Compactação indicada por grãos fraturados e micas deformadas, opacos como cutícula, como cimento e recobrindo minerais pesados, dissolução de feldspatos, caulinição de feldspatos e moscovitas.

Amostra 189,80m

Descrição Microscópica:

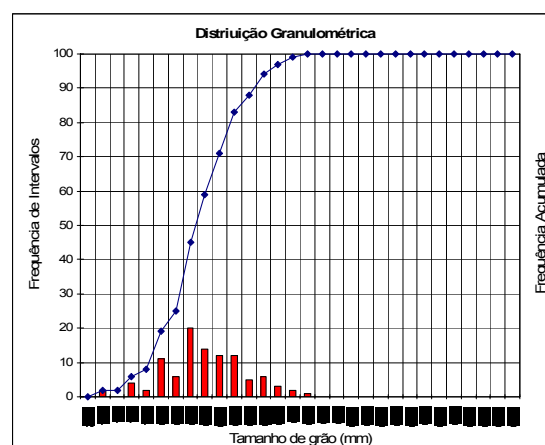
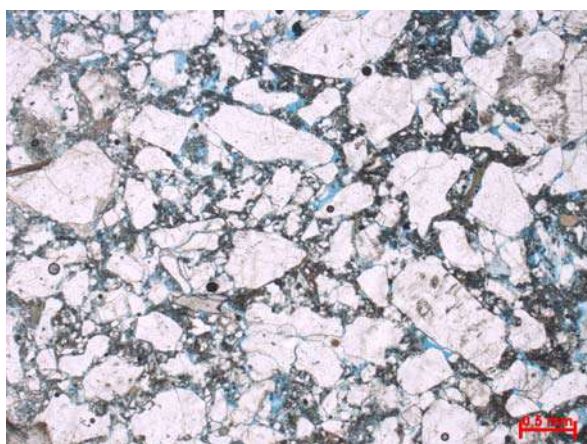
A rocha corresponde a arenito grosso, subarredondado, moderadamente selecionado. Constituído por ortoclásio, quartzo monocristalino, microclina, fragmento de rocha plutônica, plagioclásio, quartzo policristalino, biotita, moscovita, infiltração mecânica de argila e intraclasto lamoso. Como minerais acessórios ocorrem zircão, epidoto, clinozoizita, granada e apatita. Os constituintes diagenéticos são esmectitas, minerais opacos e caulinita.

Qualidade de Reservatório:

Porosidade regular, intergranular e intragranular. Os contatos são pontuais.

Eventos Diagenéticos:

Compactação, infiltração mecânica de argilas, óxidos como cutículas, recobrindo minerais pesados, micas e argilas, dissolução de feldspatos, caulinição de moscovitas, moscovitas expandidas e deformadas.



Amostra 189,80m - Visão geral da lâmina (aumento de 2,5x) e gráfico de distribuição granulométrica

APÊNDICE A₅ – Descrição petrográfica das lâminas delgadas

Amostra 209,20m

Descrição Microscópica:

A rocha corresponde a arenito muito fino a fino, com grãos grossos dispersos, moderadamente selecionados, subanguloso. Constituído por ortoclásio, quartzo monocristalino, microclina, fragmento de rocha plutônica, plagioclásio, quartzo policristalino, biotita, moscovita, esmectita infiltrada com habito maciço. Como minerais acessórios ocorrem zircão, epidoto, clinozoizita. Os constituintes diagenéticos são esmectitas, minerais opacos caulinita e siderita (?).

Qualidade de Reservatório:

Porosidade regular, intergranular e intragranular. Os grãos em contato pontual ou reto.

Eventos Diagenéticos:

Leve compactação, infiltração mecânica de argilas, óxidos como cutículas, recobrindo minerais pesados ou precipitado nos poros, dissolução de feldspatos, caulinitização de moscovitas, siderita (?) precipitada em biotitas.

Amostra 224,90m

Descrição Microscópica:

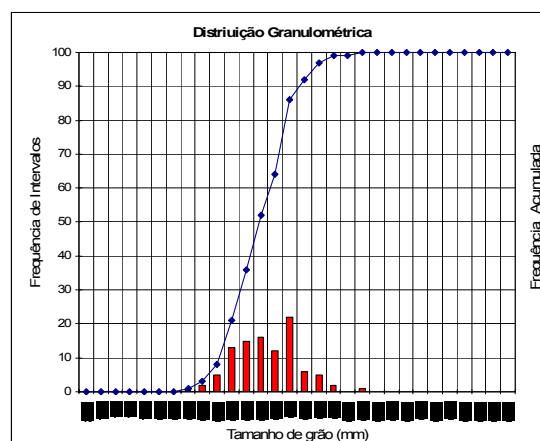
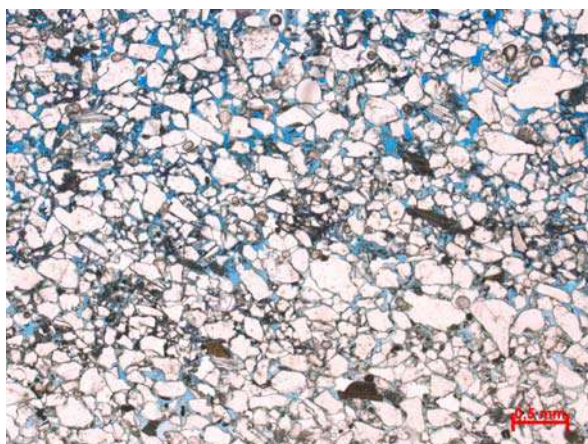
A rocha corresponde arenito médio, moderadamente selecionado, subanguloso. Constituído por ortoclásio, quartzo monocristalino, microclina, fragmento de rocha plutônica, plagioclásio, quartzo policristalino, biotita, moscovita, intraclasto, argila infiltrada. Como minerais acessórios ocorrem zircão, epidoto, clinozoizita, granada. Os constituintes diagenéticos são esmectitas, minerais opacos e caulinita.

Qualidade de Reservatório:

Porosidade regular a boa, intergranular e intragranular. Os contatos são predominantemente pontuais e por vezes retos ou flutuantes.

Eventos Diagenéticos:

Compactação, discretas cutículas de argila infiltrada, óxidos como cutículas, recobrindo minerais pesados ou precipitado nos poros, dissolução de feldspatos, caulinitização de moscovitas.



Amostra 224,90m - Visão geral da lâmina (aumento de 2,5x) e gráfico de distribuição granulométrica

APÊNDICE A₆ – Descrição petrográfica das lâminas delgadas

Amostra 232,65m

Descrição Microscópica:

A rocha corresponde a arenito médio, com grãos muito grossos dispersos, moderadamente selecionados, subarredondados. Constituído por ortoclásio, quartzo monocristalino, microclina, fragmento de rocha plutônica, plagioclásio, quartzo policristalino, biotita, moscovita, argila mecanicamente infiltrada (esmectita), intraclasto argiloso. Como minerais acessórios ocorrem zircão, clinozoizita, epidoto, granada. Os constituintes diagenéticos são esmectita e minerais opacos.

Qualidade de Reservatório:

Porosidade regular, intergranular e intragranular. Em alguns pontos os grãos estão em contato reto e até côncavo-convexo. Em outros locais os contatos são pontuais e flutuantes.

Eventos Diagenéticos:

Compactação, infiltração mecânica de argilas, minerais opacos substituindo grãos, como cutículas em grãos e sobre cutícula de esmectita, dissolução de feldspatos.

Amostra 266,20m

Descrição Microscópica:

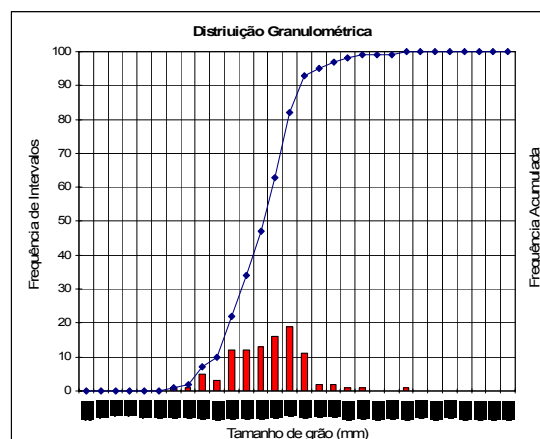
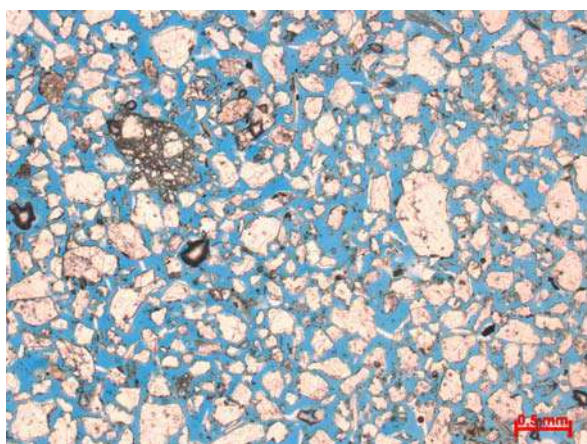
A rocha corresponde arenito fino, moderadamente selecionado, subanguloso. Constituído por ortoclásio, quartzo monocristalino, microclina, fragmento de rocha plutônica, plagioclásio, quartzo policristalino, biotita, moscovita e intraclasto lamoso. Como minerais acessórios ocorrem granada, turmalina, epidoto, zircão, rutilo (?) como inclusão nos quartzos. Os constituintes diagenéticos são minerais opacos e caulinita.

Qualidade de Reservatório:

Porosidade muito boa, intergranular. Os grãos estão em contato flutuante. Amostra desagregada.

Eventos Diagenéticos:

Ausência de compactação evidente, óxidos substituindo minerais pesados, dissolução dos feldspatos, caulinita substituindo moscovita e feldspatos.



Amostra 266,20m - Visão geral da lâmina (aumento de 2,5x) e gráfico de distribuição granulométrica

APÊNDICE A7 – Descrição petrográfica das lâminas delgadas

Amostra 284,15m

Descrição Microscópica:

A rocha corresponde a interlaminado de arenito muito fino e arenito fino a médio, moderadamente selecionado, subarredondado a subanguloso. Laminação incipiente dada pela orientação das micas. Constituído por ortoclásio, quartzo monocristalino, microclina, quartzo policristalino, plagioclásio, litoclasto plutônico, biotita, moscovita, argila intergranular. Como minerais acessórios ocorrem zircão, clinozoizita, epidoto, titanita (?). Os constituintes diagenéticos são esmectitas, minerais opacos e caulinita.

Qualidade de Reservatório:

Porosidade boa, intergranular. Os contatos pontuais e flutuantes

Eventos Diagenéticos:

Pouca compactação, pouca argila de infiltração, precipitação de opacos como cutícula em grãos, recobrindo minerais pesados e disseminado, fraca dissolução de feldspatos, alteração de moscovita para caulinita indício de compactação dado pelas micas.

Amostra 316,95m

Descrição Microscópica:

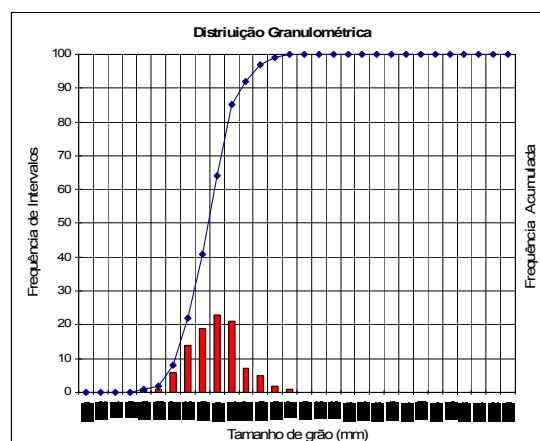
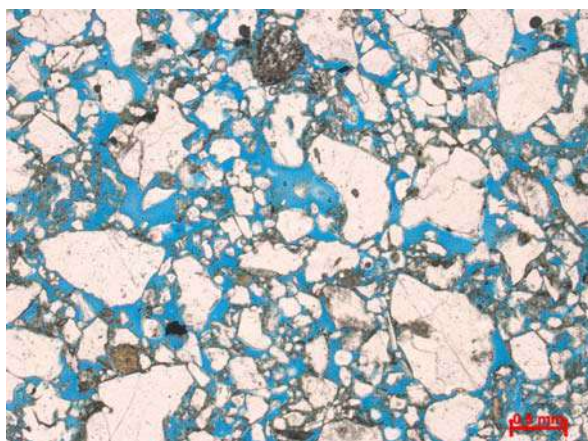
A rocha corresponde a arenito médio com grãos grossos a muito grossos dispersos, moderadamente selecionados, subarredondados a subangulosos. Constituído por ortoclásio, quartzo monocristalino, microclina, quartzo policristalino, plagioclásio, litoclasto plutônico, biotita, moscovita, argila intergranular. Como minerais acessórios ocorrem zircão, clinozoizita, epidoto, granada, turmalina (?), titanita (?). Os constituintes diagenéticos são esmectitas, minerais opacos e caulinita.

Qualidade de Reservatório:

Porosidade boa, intergranular e intragranular. Grãos em contato pontual, flutuante.

Eventos Diagenéticos:

Argila de infiltração como cutícula, precipitação óxidos recobrindo minerais pesados e como cutícula nos demais grãos, dissolução de feldspatos, moscovita expandida alterando para caulinita, caulinita preenchendo poro.



Amostra 316,95m - Visão geral da lâmina (aumento de 2,5x) e gráfico de distribuição granulométrica

APÊNDICE A₈ – Descrição petrográfica das lâminas delgadas

Amostra 342,27m

Descrição Microscópica:

A rocha corresponde a arenito muito fino/médio, pobremente selecionado, subanguloso. Constituído por ortoclásio, quartzo monocristalino, microclina, quartzo policristalino, plagioclásio, litoclasto plutônico, biotita, moscovita, argila intergranular de infiltração. Como minerais acessórios ocorrem: zircão, clinozoizita, epidoto, granada, hornblenda. Os constituintes diagenéticos são esmectitas de infiltração e minerais opacos.

Qualidade de Reservatório:

Porosidade boa; intergranular e intragranular. Os contatos são pontuais e flutuantes, em alguns casos retos.

Eventos Diagenéticos:

Infiltração mecânica de argilas, pouca compactação, minerais opacos recobrindo grãos ou como cutículas.

Amostra 365,65m

Descrição Microscópica:

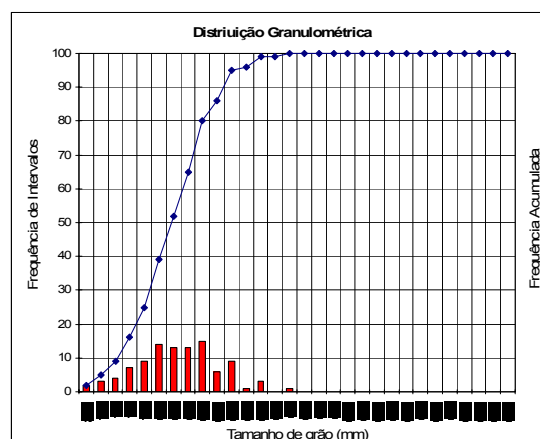
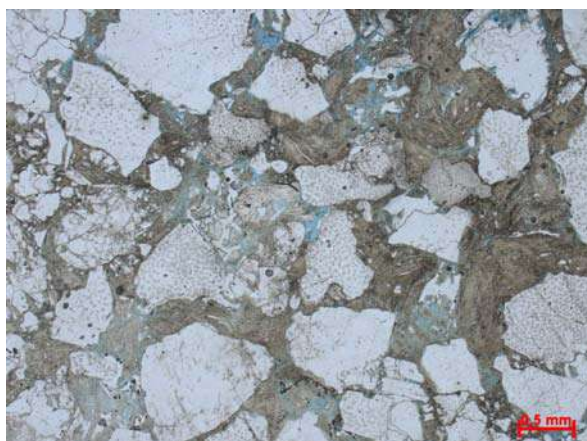
A rocha corresponde a arenito grosso, moderadamente selecionado, subarredondado. Constituído por ortoclásio, quartzo monocristalino, microclina, quartzo policristalino, plagioclásio, fragmento de rocha plutônica, biotita (nos litoclastos), moscovita, argila intergranular de infiltração. Como minerais acessórios ocorrem intraclasto carbonático e intraclasto lamoso. Os constituintes diagenéticos são as esmectitas infiltradas, minerais opacos e caulinita.

Qualidade de Reservatório:

Porosidade regular a ruim. Os grãos se encontram em contatos pontuais, ocorre argila de infiltração e intraclasto como pseudomatriz.

Eventos Diagenéticos:

Infiltração mecânica de argilas (como cutícula e com habito maciço), compactação observada por grãos detríticos fraturados e intraclastos esmagados, dissolução de feldspatos, alteração de moscovita e feldspato para caulinita.



Amostra 365,65m - Visão geral da lâmina (aumento de 2,5x) e gráfico de distribuição granulométrica

APÊNDICE A₉ – Descrição petrográfica das lâminas delgadas

Amostra 426,95m

Descrição Microscópica:

A rocha corresponde a arenito médio a grosso, moderadamente selecionado, subarredondado. Constituído por ortoclásio, quartzo monocristalino, microclina, quartzo policristalino, plagioclásio, fragmento de rocha plutônica, biotita (nos litoclastos), moscovita, finos filmes de argila mecanicamente infiltrada. Como minerais acessórios ocorrem intraclasto carbonático (calcrete). Os constituintes diagenéticos são argila infiltrada e minerais opacos.

Qualidade de Reservatório:

Porosidade muito boa, intergranular e intragranular. Os contatos são flutuantes.

Eventos Diagenéticos:

Infiltração mecânica de argila como cutículas, minerais opacos substituindo grãos detríticos, óxidos como cutículas, dissolução de feldspatos.

Amostra 430,20m

Descrição Microscópica:

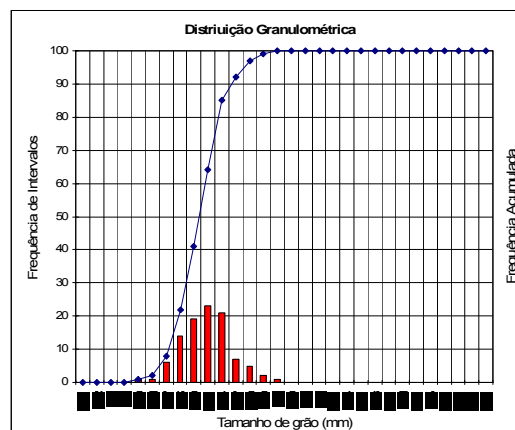
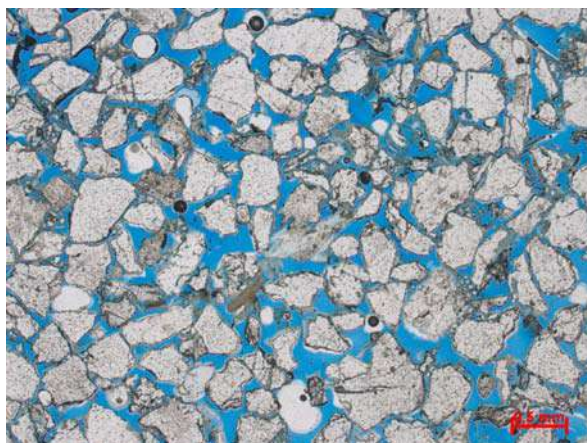
A rocha corresponde a arenito médio com muitos finos, moderadamente selecionado, subanguloso a subarredondado. Constituído por ortoclásio, quartzo monocristalino, microclina, quartzo policristalino, plagioclásio, litoclasto plutônico, biotita, moscovita, argila intergranular. Como minerais acessórios ocorrem clinozoizita, epidoto, granada, zircão e apatita. Os constituintes diagenéticos são as esmectitas infiltradas, os óxidos e hidróxidos e caulinita, sílica sintaxial.

Qualidade de Reservatório:

Porosidade boa, intergranular e intragranular, Os grãos estão em contatos flutuantes ou pontuais

Eventos Diagenéticos:

Infiltração mecânica de argilas, pouca compactação, opacos como cutículas em grãos detríticos e argilas, dissolução de feldspato, raro sobrecrecimento de feldspato.



Amostra 430,20m - Visão geral da lâmina (aumento de 2,5x) e gráfico de distribuição granulométrica

APÊNDICE A₁₀ – Descrição petrográfica das lâminas delgadas

Amostra 449,00m

Descrição Microscópica:

A rocha corresponde arenito fino com alguns grãos médios dispersos, moderadamente selecionados, subangulosos a subarredondados. Constituído por ortoclásio, quartzo monocristalino, quartzo policristalino, microclina, litoclasto plutônico, biotita, moscovita, plagioclásio. Como minerais acessórios ocorrem clinozoizita, epidoto, granada, zircão e intraclasto. Os constituintes diagenéticos são minerais opacos e caulinita.

Qualidade de Reservatório:

Porosidade boa; intergranular e intragranular. Contatos pontuais e por vezes retos.

Eventos Diagenéticos:

Minerais opacos substituindo grãos detríticos, pouca compactação, deformação de micas, dissolução de feldspatos, substituição de feldspatos e moscovitas por caulinitas, precipitação de caulinita intergranular.

Amostra 464,80m

Descrição Microscópica:

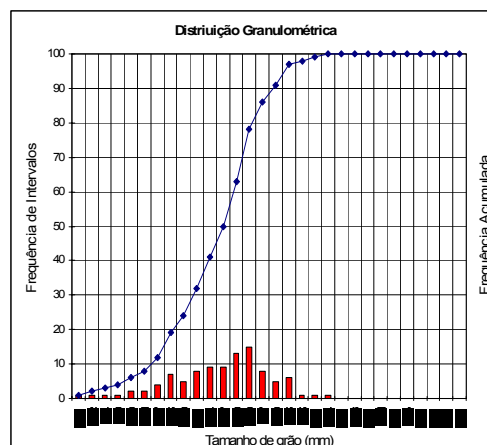
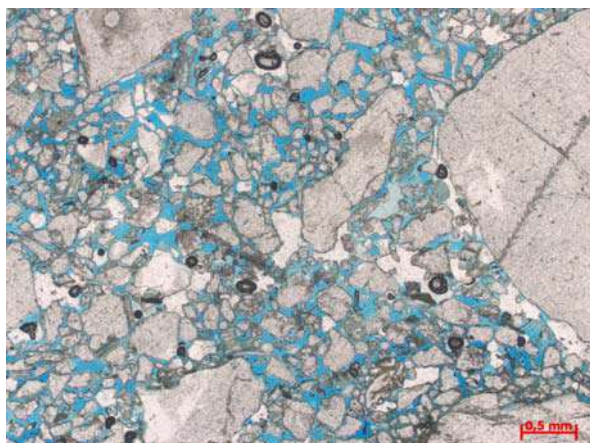
A rocha corresponde a arenito médio com grãos muito grossos e até seixos dispersos, pobremente selecionados, subanguloso. Constituído por ortoclásio, quartzo monocristalino, quartzo policristalino, microclina, litoclasto plutônico, biotita, moscovita, plagioclásio, argila intergranular infiltrada. Como minerais acessórios ocorrem clinozoizita, turmalina e zircão. Constituintes diagenéticos são minerais opacos, caulinita, esmectitas infiltrada e sílica como crescimento secundário.

Qualidade de Reservatório:

Porosidade boa; intergranular e intragranular. Predomínio de contatos pontuais.

Eventos Diagenéticos:

Infiltração mecânica de argilas, minerais opacos substituindo grãos detríticos, pouca compactação, deformação de micas, óxidos como cutículas, dissolução de feldspatos, substituição de feldspatos e moscovitas por caulinitas, precipitação de caulinita intergranular, raro crescimento secundário de quartzo e feldspato



Amostra 464,80m - Visão geral da lâmina (aumento de 2,5x) e gráfico de distribuição granulométrica

APÊNDICE A₁₁ – Descrição petrográfica das lâminas delgadas

Amostra 497,30m

Descrição Microscópica:

A rocha corresponde a arenito muito fino a fino, bem selecionado, subanguloso. Laminação incipiente dada pela orientação das micas. Constituído por ortoclásio, quartzo monocristalino, quartzo policristalino, microclina, litoclasto plutônico, biotita, moscovita, plagioclásio, argila intergranular infiltrada. As micas aparentam oxidação. Como minerais acessórios ocorrem zircão, granada, epidoto e fragmentos orgânicos. Os constituintes diagenéticos são minerais opacos e caulinita.

Qualidade de Reservatório:

Porosidade ruim, intragranular e intergranular. É observado mineral opaco como cimento e argila como pseudomatriz. Os grãos em contatos pontuais e por vezes retos.

Eventos Diagenéticos:

Infiltração mecânica de argilas, minerais opacos substituindo grãos detríticos e cimentando poros, pouca compactação, dissolução de feldspatos.

Amostra 521,80m

Descrição Microscópica:

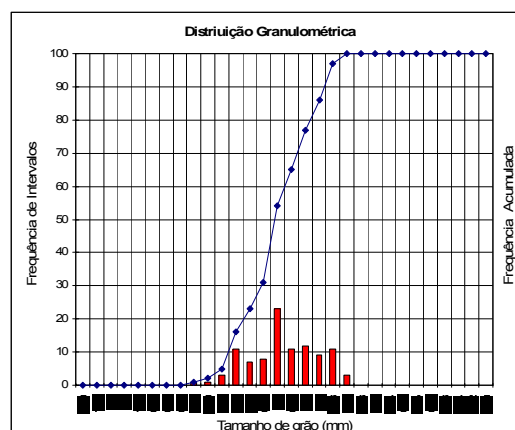
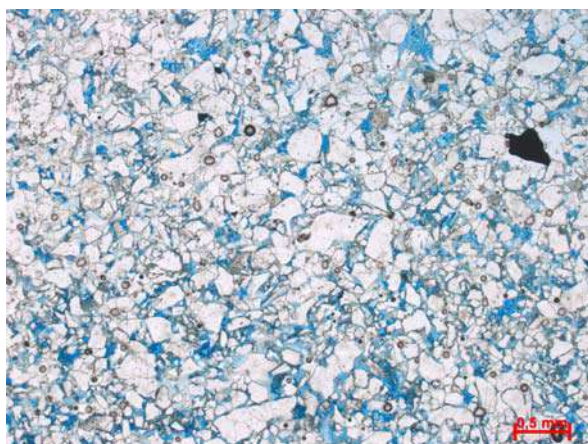
A rocha corresponde a arenito fino, com grãos muito grossos dispersos, moderadamente selecionados, subanguloso. Constituído por ortoclásio, quartzo monocristalino, quartzo policristalino, microclina, litoclasto plutônico, biotita, moscovita, plagioclásio, argila intergranular infiltrada. Como minerais acessórios ocorrem titanita, zircão, opacos, granada, clinozoizita, hornblenda (?), epidoto. Constituintes diagenéticos são minerais opacos, caulinita e esmectita de infiltração.

Qualidade de Reservatório:

Porosidade boa; intergranular e intragranular. Contatos pontuais e por vezes retos.

Eventos Diagenéticos:

Infiltração mecânica de esmectitas, minerais opacos substituindo grãos e como cutículas, pouca compactação, deformação de micas, dissolução de feldspatos, caulinita substituindo feldspatos, moscovita e caulinita intergranular.



Amostra 521,80m - Visão geral da lâmina (aumento de 2,5x) e gráfico de distribuição granulométrica

APÊNDICE A₁₂ – Descrição petrográfica das lâminas delgadas

Amostra 537,85m

Descrição Microscópica:

A rocha corresponde a arenito médio/grosso, pobremente selecionado, subanguloso a subarredondado. Constituído por ortoclásio, quartzo monocristalino, quartzo policristalino, microclina, plagioclásio, biotita, moscovita, litoclasto plutônico. Como acessórios ocorrem clinozoizita, granada, anfibólio, zircão e intraclastos. Os constituintes diagenéticos são minerais opacos e caulinita.

Qualidade de Reservatório:

Porosidade boa, intergranular e intragranular. Os contatos são flutuantes. Caulinitas preenchendo poros intergranulares

Eventos Diagenéticos:

Minerais opacos substituindo grãos detríticos, dissolução de feldspatos, alteração de moscovitas para caulinita, precipitação de caulinita.

Amostra 547,10m

Descrição Microscópica:

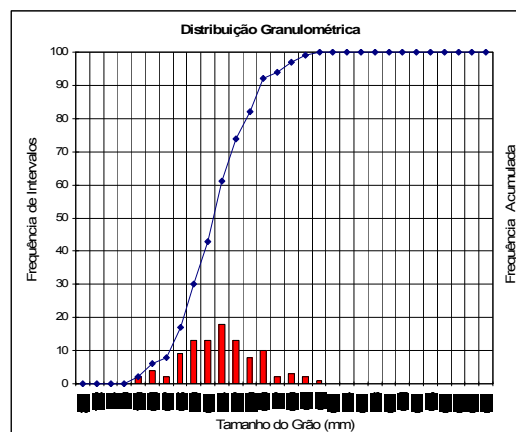
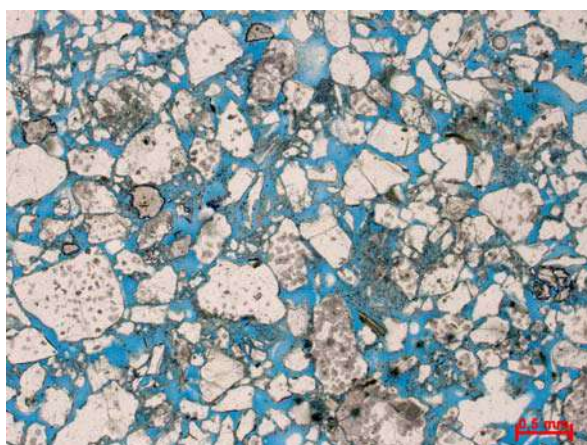
A rocha corresponde a arenito médio com alguns finos, moderadamente selecionados, subanguloso a subarredondado. Constituído por ortoclásio, quartzo monocristalino, quartzo policristalino, microclina, litoclasto plutônico, biotita, moscovita, plagioclásio, argila intergranular infiltrada, intraclasto lamoso. Como minerais acessórios ocorrem granada, zircão, clinozoizita, mineral opaco, titanita e apatita. Constituintes diagenéticos são caulinita, esmectitas infiltradas e minerais opacos.

Qualidade de Reservatório:

Porosidade boa; intergranular e intragranular. Contatos pontuais e por vezes retos.

Eventos Diagenéticos:

Infiltração mecânica de argilas, óxidos como cutículas, pouca compactação, deformação de micas, alteração de moscovita para caulinita e expansão, precipitação de caulinita, sobrecrecimento de quartzo (?).



Amostra 547,10m - Visão geral da lâmina (aumento de 2,5x) e gráfico de distribuição granulométrica

APÊNDICE A₁₃ – Descrição petrográfica das lâminas delgadas

Amostra 587,45m

Descrição Microscópica:

A rocha corresponde a arenito fino a médio, com grãos grossos, moderadamente selecionados, subangulosos a subarredondados. Constituído por ortoclásio, quartzo monocristalino, quartzo policristalino, microclina, litoclasto plutônico, biotita, moscovita, plagioclásio, argila intergranular infiltrada, intraclasto lamoso. Como minerais acessórios ocorrem: apatita, zircão, granada, turmalina, titanita. Os constituintes diagenéticos são esmectitas, minerais opacos e caulinita.

Qualidade de Reservatório:

Porosidade boa; intergranular e intragranular. Contatos pontuais, por vezes retos.

Eventos Diagenéticos:

Infiltração mecânica de argilas, precipitação de óxidos e hidróxidos de ferro, pouca compactação, dissolução de feldspatos, caulinita substituindo feldspatos e moscovitas e precipitando em poros intergranulares.

Amostra 614,85m

Descrição Microscópica:

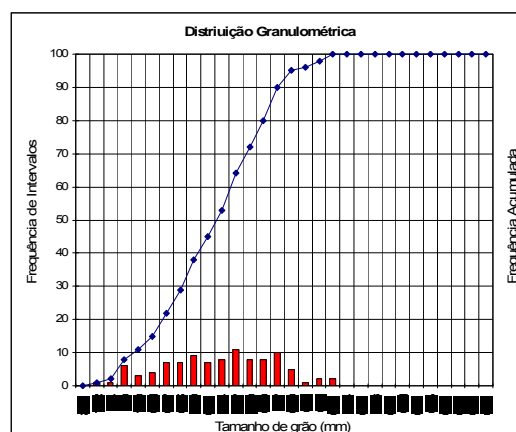
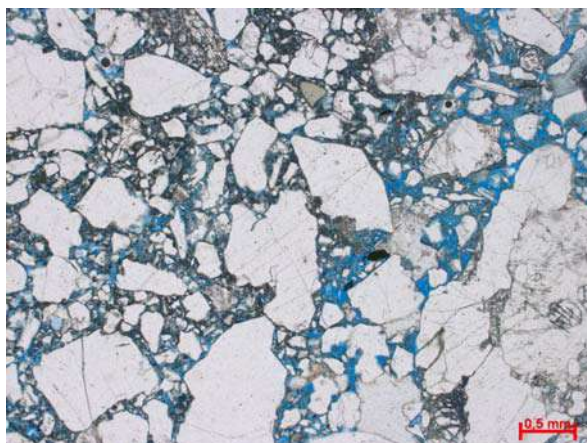
A rocha corresponde a arenito médio com grãos grossos dispersos, moderadamente selecionados, subanguloso. Constituído por ortoclásio, quartzo monocristalino, quartzo policristalino, microclina, litoclasto plutônico, biotita, moscovita, plagioclásio, argila intergranular infiltrada. Como acessórios ocorrem apatita, zircão, minerais opacos, granada, clinozoizita, turmalina e epidoto. Constituintes diagenéticos são esmectitas, caulinita e minerais opacos.

Qualidade de Reservatório:

Porosidade boa; intergranular e intragranular. Contatos pontuais e por vezes retos.

Eventos Diagenéticos:

Infiltração mecânica de esmectitas, precipitação de cimento ferruginoso, pouca compactação, deformação de micas, dissolução de minerais pesados, dissolução de feldspatos, precipitação de caulinita.



APÊNDICE A₁₄ – Descrição petrográfica das lâminas delgadas

Amostra 645,25m

Descrição Microscópica:

A rocha corresponde a arenito fino a muito fino, com grãos grossos dispersos, pobremente selecionado, subanguloso. Constituído por ortoclásio, quartzo monocristalino, quartzo policristalino, microclina, litoclasto plutônico, biotita, moscovita, plagioclásio, argila intergranular infiltrada, intraclasto lamoso. Como minerais acessórios ocorrem apatita, zircão, granada, clinozoizita e turmalina. Os constituintes diagenéticos são esmectitas, minerais opacos e caulinita.

Qualidade de Reservatório:

Porosidade boa; intergranular e intragranular. Contatos pontuais e por vezes retos.

Eventos Diagenéticos:

Pouca compactação, infiltração mecânica de esmectitas, precipitação de minerais opacos, dissolução de feldspatos, caulinita intergranular, substituindo feldspatos e moscovitas.

Amostra 673,80m

Descrição Microscópica:

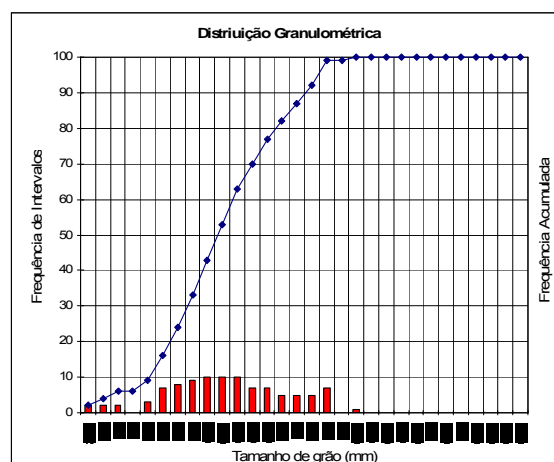
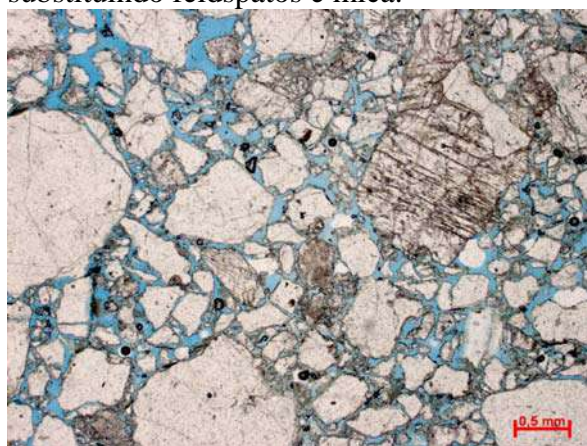
A rocha corresponde a arenito médio, com grãos grossos a seixos, pobremente selecionados, subangulosos a subarredondados. Constituído por ortoclásio, quartzo monocristalino, quartzo policristalino, microclina, litoclasto plutônico, biotita, moscovita, plagioclásio, argila intergranular infiltrada. Como minerais acessórios ocorrem: apatita, zircão, minerais opacos, granada, turmalina, anfibólios. Constituintes diagenéticos são as esmectitas, caulinita e minerais opacos.

Qualidade de Reservatório:

Porosidade boa, intergranular, intergranular e por micro fraturas. Os contatos são flutuantes ou pontuais.

Eventos Diagenéticos:

Pouca compactação, infiltração mecânica de argilas, minerais opacos substituindo grãos ou como cutícula, dissolução de feldspatos, precipitação de caulinita intergranular ou substituindo feldspatos e mica.



Amostra 673,80m - Visão geral da lâmina (aumento de 2,5x) e gráfico de distribuição granulométrica

APÊNDICE A₁₅ – Descrição petrográfica das lâminas delgadas

Amostra 702,15m

Descrição Microscópica:

A rocha corresponde arenito fino a médio com alguns grossos a muito grossos, moderadamente selecionados, subangulosos. Constituído por ortoclásio, quartzo monocristalino, quartzo policristalino, microclina, litoclasto plutônico, biotita, moscovita, plagioclásio, argila intergranular infiltrada. Como minerais acessórios ocorrem: apatita, zircão, clinozoizita, titanita (?) e granada. Os constituintes diagenéticos são esmectitas infiltradas, minerais opacos e caulinita.

Qualidade de Reservatório:

Porosidade boa; intergranular, móldica e intragranular. Contatos pontuais ou flutuantes.

Eventos Diagenéticos:

Pouca compactação, infiltração mecânica de esmectitas, minerais opacos substituindo feldspatos, micas e minerais pesados, dissolução de minerais pesados, óxidos como cutícula, deformação das micas, dissolução de feldspatos, precipitação de caulinita substituindo feldspato e mica.

Amostra 720,90m

Descrição Microscópica:

A rocha corresponde a arenito fino, moderadamente selecionado, subanguloso. Constituído por ortoclásio, quartzo monocristalino, quartzo policristalino, microclina, litoclasto plutônico, biotita, moscovita, plagioclásio, argila intergranular infiltrada. Como minerais acessórios ocorrem zircão, turmalina, clinozoizita, hornblenda, epidoto e granada. Os constituintes diagenéticos são esmectitas, caulinita e minerais opacos.

Qualidade de Reservatório:

Porosidade regular; intergranular, móldica e intragranular. Os contatos são pontuais ou flutuantes e ocorre redução de porosidade pelas argilas mecanicamente infiltradas

Eventos Diagenéticos:

Pouca compactação, infiltração mecânica de esmectitas, minerais opacos substituindo grãos detríticos ou como cutícula, deformação das micas, dissolução de feldspatos, precipitação de caulinita substituindo feldspato e mica.

